

Gutachterliche Stellungnahme

**Bewertung der geologischen Situation in der Gemarkungsfläche Heidelberg in
Bezug auf das Potential zur Endlagerung von hochradioaktiven
(wärmeproduzierenden) Abfallstoffen.**

Prof. Dr. rer. nat. Diplom Geologe [REDACTED]

Institut für Geowissenschaften

Universität Heidelberg

Im Neuenheimer Feld 234

69120 Heidelberg

26. 02. 2021

Gliederung

1.	Einleitung	3
2.	Ausschlusskriterien und Anforderungen für die Standortauswahl nach StandAG	4
3.	Mindestanforderungen an den Standort eines Endlagers nach StandAG	5
4.	Ablauf der Standortsuche nach StandAG	7
5.	Geologie im Gemarkungsgebiet Stadt Heidelberg	8
	4.1 Gesteinsformationen (Lithologien)	8
	4.2 Räumliche Lagerung	11
	4.3 Erdbeben	17
	4.4 Vertikalbewegungen (Geodäsie-Daten)	19
	4.5 Hydrogeologie	19
6.	Vergleich der Ausschlusskriterien eines potentiellen Standorts als Endlage für hochradioaktive Abfälle mit den geologischen Gegebenheiten im Gemarkungsgebiet Stadt Heidelberg	21
7.	Stellungnahme	24
8.	Literatur	26
	Anhang: Begriffsdefinitionen nach dem Standortauswahlgesetz – StandAG	27

1. Einleitung

Die Stadt Heidelberg hat Anfang Februar 2021 eine Anfrage an meine Person, Prof. Dr. rer. nat. Diplom Geologe [REDACTED], gestellt mit der Bitte einer gutachterlichen Stellungnahme zum möglichen Bau eines Endlagers für wärmeproduzierenden hochradioaktiven Abfall im Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg. Diese Anfrage basiert auf den Ergebnissen eines von der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) erstellten „Zwischenberichts Teilgebiete gemäß § 13 StandAG“ vom 28. 09. 2020, der den östlichen Teil des Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg im Schritt 1 der ersten Phase der Analyse für potentiell geeignet im Teilgebiet „Kristallines Wirtsgestein“ hält (Abb. 1). Diese potentielle Eignung beruht auf der geologischen Situation, den Gesteinsvorkommen, im östlichen Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg. Im Folgenden wird eine Analyse durchgeführt, die die vorhandene geologische Situation bezüglich Ihrer Eignung für ein Endlager bewertet. Der „Zwischenberichts Teilgebiete gemäß § 13 StandAG“ wurde von der BGE in der ersten Phase des Standortauswahlverfahrens zur Errichtung eines Endlagers für wärmeproduzierenden hochradioaktiven Abfall erstellt. Die Gesteine, in die ein Endlager errichtet wird, müssen Ausschlusskriterien erfüllen, die eine Endlagerung von 1 Million Jahre ermöglichen. Die Suche nach einem geeigneten Standort basiert auf dem Standortauswahlgesetz – StandAG, das im Mai 2017 vom Gesetzgeber novelliert wurde. Das Standortauswahlgesetz beschreibt die Prinzipien der Standortsuche. Diese sind: wissenschaftsbasiert, partizipativ, transparent, selbsthinterfragend und lernend. Ebenfalls sind in dem StandAG die Mindestanforderungen benannt, die notwendig sind, um einen Standort für ein 1 Million Jahre als ein sicheres Endlager festzulegen. Diese Mindestanforderungen sind wie folgt: Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, minimale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, Fläche des Endlagers und Erhalt der Barrierewirkung.

Stadtgebiet Heidelberg und Teilgebiet Kristallines Wirtsgestein

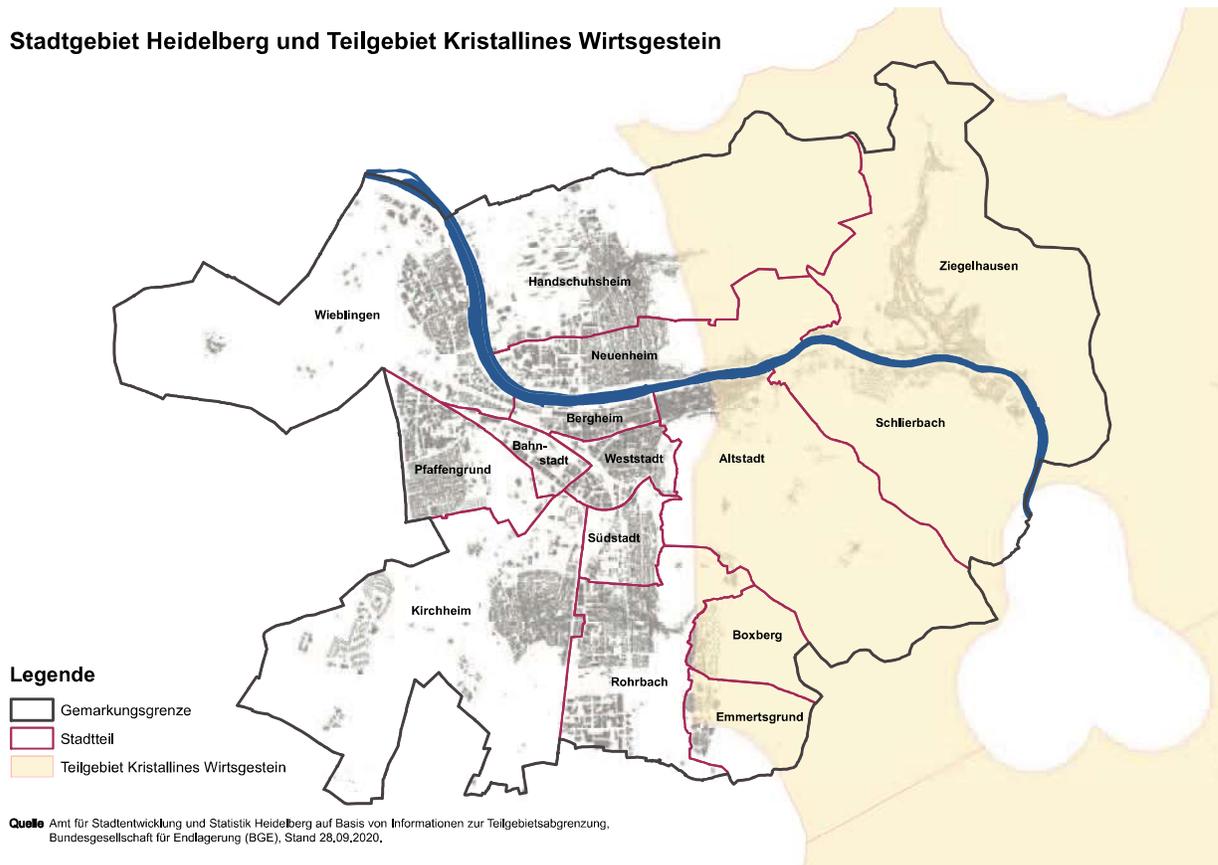


Abb. 1: Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg mit Teilgebiet „Kristallines Wirtsgestein“ aus dem BGE-Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG vom 28. 09. 2020. Diese Abbildung wurde mir von Herrn Dipl.-Ing. [REDACTED] (Amt für Stadtentwicklung und Statistik der Stadt Heidelberg) am 15. 02. 2021 in einer E-Mail zur Verfügung gestellt.

2. Ausschlusskriterien und Anforderungen für die Standortauswahl nach StandAG

Das Gesetz zur Suche und Auswahl eines Endlager-Standortes für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG) legt Ausschlusskriterien für die Standortauswahl fest. Diese Kriterien werden in allen Schritten des Auswahlverfahrens jeweils von Neuem angewandt. „Ein Gebiet ist nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn mindestens eines der Ausschlusskriterien in diesem Gebiet erfüllt ist“ (Wortlaut StandAG).

Im Folgenden sind die Ausschlusskriterien entsprechend des Wortlauts im StandAG direkt wiedergegeben:

„Großräumige Vertikalbewegungen: „Es ist eine großräumige geogene Hebung von im Mittel mehr als 1 mm pro Jahr über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahren zu erwarten“.

Aktive Störungszonen: „In den Gebirgsbereichen, die als Endlagerbereich in Betracht kommen, einschließlich eines abdeckenden Sicherheitsabstands, sind geologisch aktive Störungszonen vorhanden, die das Endlagersystem und seine Barrieren beeinträchtigen können. Unter einer „aktiven Störungszone“ werden Brüche in den Gesteinsschichten der oberen Erdkruste wie Verwerfungen mit deutlichem Gesteinsversatz sowie ausgedehnte Zerrüttungszonen mit tektonischer Entstehung, an denen nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit im Zeitraum Rupel bis heute, also innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre, Bewegungen stattgefunden haben. Atektionische beziehungsweise aseismische Vorgänge, also Vorgänge, die nicht aus tektonischen Abläufen abgeleitet werden können oder nicht auf seismische Aktivitäten zurückzuführen sind und die zu ähnlichen Konsequenzen für die Sicherheit eines Endlagers wie tektonische Störungen führen können, sind wie diese zu behandeln“.

Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit: „Das Gebirge ist durch gegenwärtige oder frühere bergbauliche Tätigkeit so geschädigt, dass daraus negative Einflüsse auf den Spannungszustand und die Permeabilität des Gebirges im Bereich eines vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs oder vorgesehenen Endlagerbereichs zu besorgen sind; vorhandene alte Bohrungen dürfen die Barrieren eines Endlagers, die den sicheren Einschluss gewährleisten, in ihrer Einschlussfunktion nachweislich nicht beeinträchtigen“.

Seismische Aktivität: „Die örtliche seismische Gefährdung ist größer als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA 2011-01“.

Vulkanische Aktivität: „Es liegt quartärer Vulkanismus vor oder es ist zukünftig vulkanische Aktivität zu erwarten“.

Grundwasseralter: „In den Gebirgsbereichen, die als einschlusswirksamer Gebirgsbereich oder Einlagerungsbereich in Betracht kommen, sind junge Grundwässer nachgewiesen worden“.

3. Mindestanforderungen an den Standort eines Endlagers nach StandAG

Die Mindestanforderungen für den Standort eines Endlagers für hochradioaktiven Abfall nach dem StandAG sind im weiteren Verlauf gekürzt wörtlich wieder gegeben. Als Besonderheit wird in dem StandAG auf kristallines Wirtsgestein eingegangen. „Für das Wirtsgestein Kristallingestein ist unter den Voraussetzungen des Absatzes 4 für den sicheren Einschluss ein alternatives Konzept zu einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich möglich, das deutlich höhere Anforderungen an die Langzeitintegrität des Behälters stellt“.

(4) „Ist in einem Gebiet absehbar, dass kein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ausgewiesen werden kann, es sich aber für ein wesentlich auf technischen oder geotechnischen Barrieren beruhendes Endlagersystem eignet, muss anstelle der Mindestanforderung nach Absatz 5 Nummer 1 der Nachweis geführt werden, dass die technischen und geotechnischen Barrieren den sicheren Einschluss der Radionuklide für eine Million Jahre gewährleisten können. Der Nachweis ist spätestens in der Begründung für den Vorschlag nach § 18 Absatz 3 zu führen“.

Gebirgsdurchlässigkeit:

„In einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich muss die Gebirgsdurchlässigkeit k_f weniger als 10^{-10} m/s betragen; sofern ein direkter Nachweis in den Begründungen für die Vorschläge nach den §§ 14 und 16 noch nicht möglich ist, muss nachgewiesen werden, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich aus Gesteinstypen besteht, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m/s zugeordnet werden kann; die Erfüllung des Kriteriums kann auch durch den Einlagerungsbereich überlagernde Schichten nachgewiesen werden“.

Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs:

„Der Gebirgsbereich, der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen soll, muss mindestens 100 Meter mächtig sein; bei Gesteinskörpern des Wirtsgesteins Kristallin mit geringerer Mächtigkeit kann der Nachweis des sicheren Einschlusses für den betroffenen Gebirgsbereich bei Vorliegen geringer Gebirgsdurchlässigkeit auch über das Zusammenwirken des Wirtsgesteins mit geotechnischen und technischen Barrieren geführt werden; eine Unterteilung in mehrere solcher Gebirgsbereiche innerhalb eines Endlagersystems ist zulässig“.

Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs:

„Die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs muss mindestens 300 Meter unter der Geländeoberfläche liegen. In Gebieten, in denen im Nachweiszeitraum mit exogenen Prozessen wie insbesondere eiszeitlich bedingter intensiver Erosion zu rechnen ist, deren direkte oder indirekte Auswirkungen zur Beeinträchtigung der Integrität eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs führen können, muss die Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs tiefer als die zu erwartende größte Tiefe der Auswirkungen liegen; soll ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich im Gesteinstyp Steinsalz in steiler Lagerung ausgewiesen werden, so muss die Salzscheibe über dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich mindestens 300 Meter mächtig sein; soll ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich im Gesteinstyp Tonstein ausgewiesen werden, so muss zu erwarten sein, dass das Deckgebirge auch nach dem Eintreten der genannten exogenen Prozesse ausreichend mächtig ist, um eine Beeinträchtigung der Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch Dekompaktion ausschließen zu können“.

Fläche des Endlagers:

„Ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich muss über eine Ausdehnung in der Fläche verfügen, die eine Realisierung des Endlagers ermöglicht; in den Flächenbedarf des Endlagers eingeschlossen sind Flächen, die für die Realisierung von Maßnahmen zur Rückholung von Abfallbehältern oder zur späteren Auffahrung eines Bergungsbergwerks erforderlich sind und verfügbar gehalten werden müssen“.

Erhalt der Barrierewirkung:

„Es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, insbesondere die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen“.

4. Ablauf der Standortsuche nach StandAG

Das StandAG legt den Ablauf des Standortauswahlverfahrens fest (Abb. 2). In der Phase I folgt der Ermittlung von Teilgebieten (Schritt 1) die Ermittlung von Standortregionen (Schritt 2) für eine übertägige Erkundung durch die BGE. Die daran anschließende Entscheidung zu einer übertägigen Erkundung ist mehrstufig. Die BGE reicht einen Vorschlag für eine übertägige Erkundung von potentiellen Standorten bei der BASE ein. Nach Prüfung des Vorschlags übermittelt BASE den Vorschlag einschließlich weiterer Unterlagen (siehe StandAG) an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Die Bundesregierung unterrichtet den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Standortregionen. „Die übertägig zu erkundenden Standortregionen und das weitere Verfahren mit den Gebieten, zu denen keine hinreichenden Informationen für die Anwendung der Kriterien nach den §§ 22 bis 24 vorliegen, werden durch Bundesgesetz bestimmt“ (wörtlich aus StandAG). Die im Bundesgesetz festgelegten Standorte werden in der Phase II übertägig von der BGE erkundet und ein Vorschlag für eine weiterführende untertägige Erkundung von der BGE erarbeitet. Das weitere Verfahren zur Beurteilung und Mitteilung zur untertägigen Erkundung von potentiellen Standorten wird genauso durchgeführt wie das Verfahren zur übertägigen Untersuchung von potentiellen Standorten. Die potentiellen Standorte für eine untertägige Untersuchung werden in einem Bundesgesetz festgelegt. Die daran anschließende untertägige Untersuchung der potentiellen Standorte wird von der BGE in der Phase III ausgeführt und die Ergebnisse in einen Vorschlag für den Standort eines Endlagers. Dieser Vorschlag wird von der BASE und anderen Einrichtungen geprüft. Die endgültige Entscheidung für einen Endlagerstandort wird durch ein Gesetz geregelt, das vom Deutschen Bundestag und dem Bundesrat beschlossen wird.

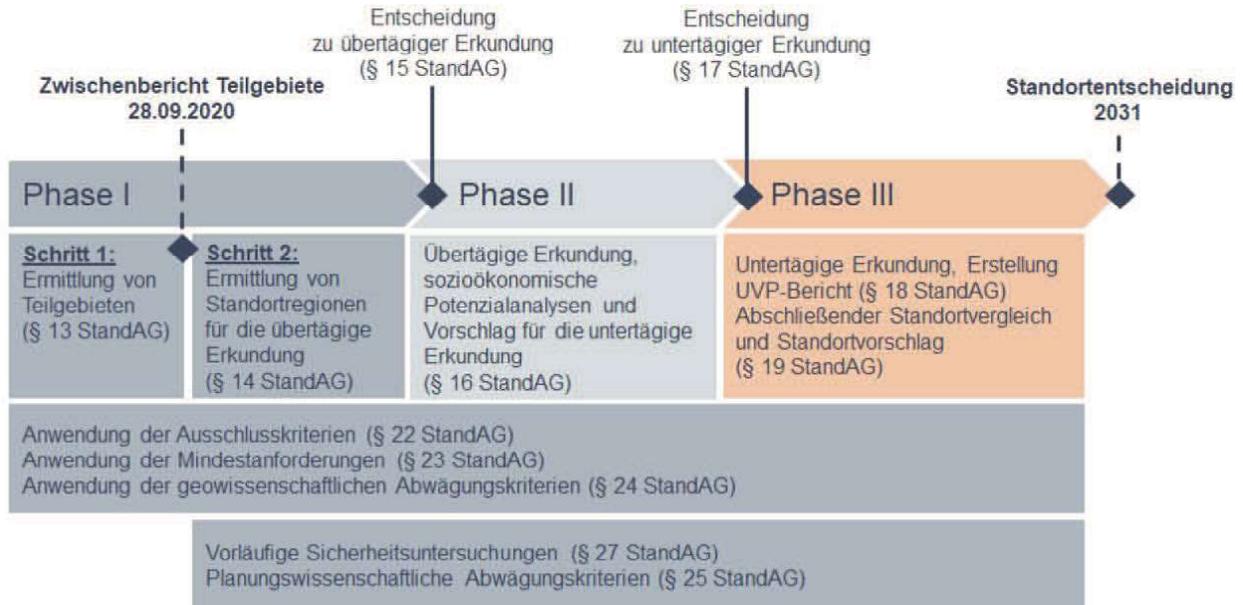


Abb. 2: Schematischer Ablauf des Standortauswahlverfahrens (BGE-Zwischenbericht 2020).

5. Geologie im Gemarkungsgebiet Stadt Heidelberg

4.1 Gesteinsformationen (Lithologien)

Das Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg lässt sich geologische in zwei Großeinheiten, eine westliche und eine östliche Großeinheit, unterteilen. Die **westliche Großeinheit** befindet sich im Oberrheingraben und beinhaltet an der Oberfläche Pleistozäne und Holozäne Lockersedimente (siehe Abb. 3, 4). Im tieferen Untergrund folgen die Sedimentgesteinsabfolgen des Neogens und Paläogens (Pliozäns, Miozäns, Oligozäns und Eozäns) (Abb. 4). Diese stratigraphischen Einheiten werden aus Lockgesteinen (Geröllen, Kiesen, Sanden, Tonen), Sandsteinen, Tonsteinen, Mergelsteinen und Karbonatgesteinen mit unterschiedlichen Mächtigkeiten aufgebaut. Im Raum Heidelberg folgen unterhalb des Eozäns die Sedimentgesteine (Sandsteine, Arkosen, Tonsteine, Mergelsteine und Kalksteine) der Trias. Die westliche Großeinheit ist im BGE-Zwischenbericht als nicht geeignet für ein Endlager beschrieben. Die Stadtteile Wieblingen, Pfaffengrund, Kirchheim, Bergheim, und Bahnstadt liegen vollständig in der westlichen Großeinheit. Die Stadtteile Handschuhsheim, Neuenheim, Weststadt, Südstadt und Rohrbach liegen zum überwiegenden Flächenanteil in der westlichen Großeinheit, haben jedoch einen unterschiedlichen großen Flächenanteil an der östlichen Großeinheit.

Die **östliche Großeinheit**, die von dem BGE-Zwischenbericht zum Teilgebiet „kristallines Wirtsgestein“ gerechnet wurde, wird geologisch aus Sedimentgesteinen des Muschelkalks, Buntsandsteins und Perms aufgebaut (Abb. 3, 4, 5). Diese Sedimentgesteine werden von den

magmatischen Gesteinen des „Heidelberger Granits“ unterlagert, der im Zeitalter des Karbons entstanden ist (Abb. 5). Die Grenzfläche zwischen dem „Heidelberger Granit“ und den ersten permischen Sedimentgesteinen (Arkose) ist eine alte Landoberfläche und im Schlossgraben des Heidelberg Schlosses zu sehen (Abb. 6). Des Weiteren finden sich Aufschlüsse des „Heidelberger Granits“ beidseitig des Neckartals bis in die Stadtteile Ziegelhausen und Schlierbach (Abb. 7). Die darüber liegenden Arkosen führen Feldspäte und Gesteinsfragmente des permischen rhyolithischen Vulkanismus. Über diesen Arkosen des Rotliegenden (unteres Perm) folgen dünne Lagen und Linsen von Dolomitsteinen und manganführende Tonsteine des Zechsteins (Oberes Perm). Die manganführenden Tonsteine wurden in der Vergangenheit im Stadtteil Neuenheim untertägig abgebaut. Die überlagernde mächtige Sandsteinfolge ist dem Buntsandstein (untere Trias) zuzurechnen. Ab dem Stadtteil Rohrbach in südliche Richtung folgen Kalksteine und Mergelsteine des Muschelkalks (Mittlere Trias). Teilweise bilden diese Gesteine den Untergrund im Stadtteil Rohrbach.

Geologische Karte von Heidelberg

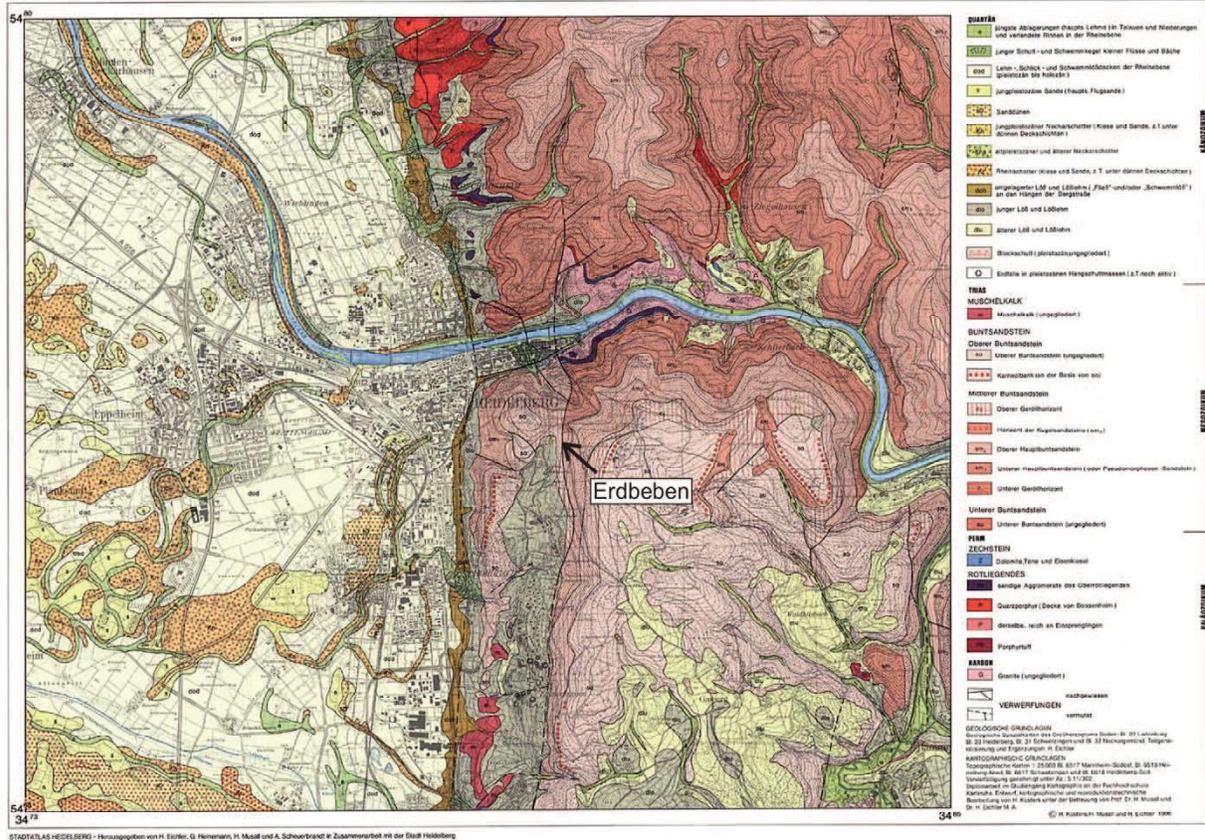


Abb. 3: Geologische Karte von Heidelberg und Umgebung.

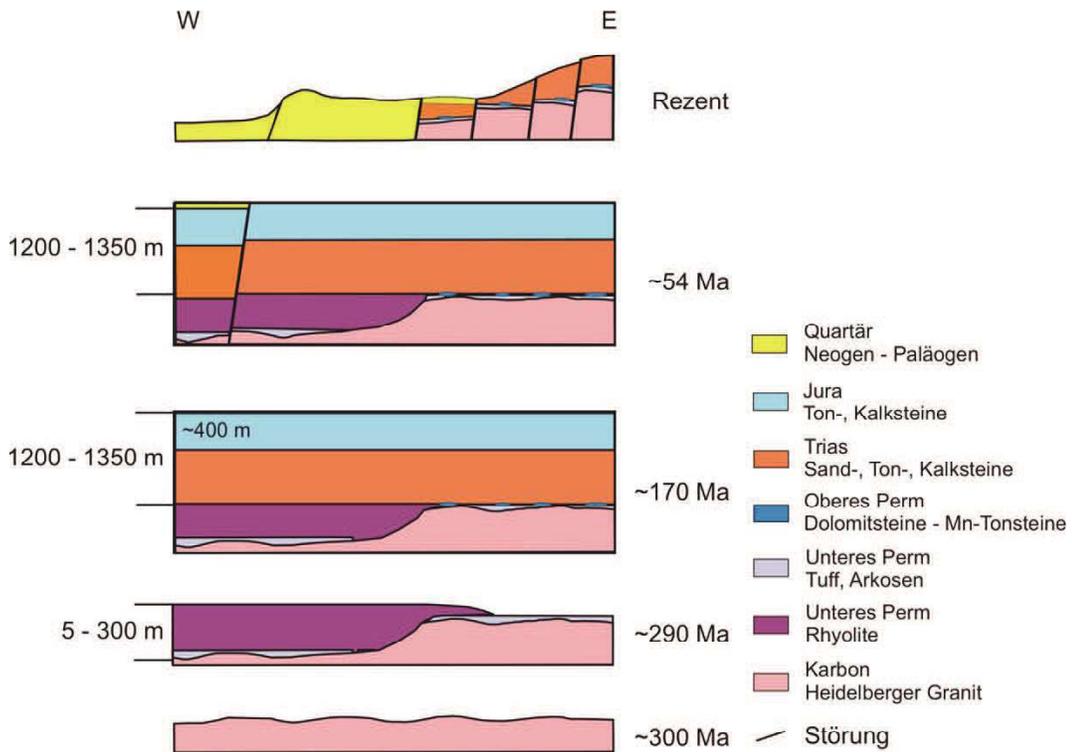


Abb. 4: Schematisches Ost-West-Profil im Bereich Heidelberg (verändert nach Kraatz 1983).

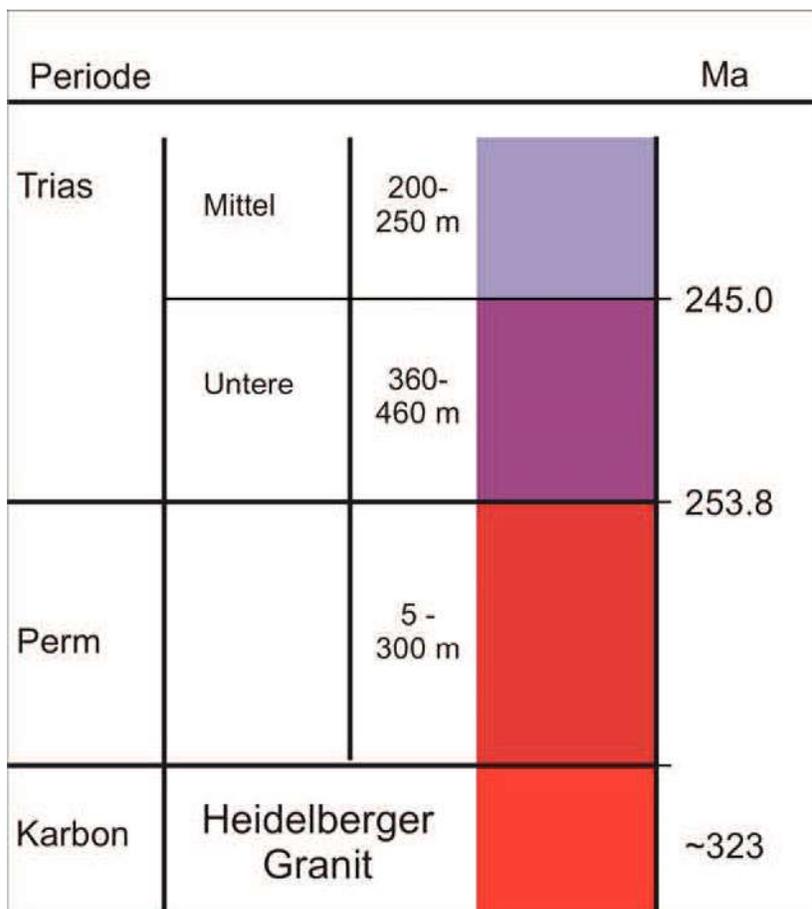


Abb. 5: Stratigraphie der östlichen Groseinheit in Heidelberg.

Die Stadteile Emmartsgrund, Boxberg, Altstadt, Schlierbach und Ziegelhausen liegen mit unterschiedlichen Flächenanteilen in der östlichen Großeinheit. Die Stadteile Handschuhheim, Neuenheim, Weststadt, Südstadt und Rohrbach liegen zum kleineren Teil in der östlichen Großeinheit.

4.2 Räumliche Lagerung

Alle stratigraphischen Einheiten, die den „Heidelberger Granit“ überlagern zeigen eine horizontale Raumlage (Abb. 3, 4, 6). Lediglich an N-S bis NNE-SSW verlaufenden Störungen kann es zu räumlichen Verstellungen kommen. Das Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg wird von mehreren großen langanhaltenden kartierbaren N-S bis NNE-SSW Störungen durchzogen (Abb. 3, 6). Diese folgen der N-S Erstreckung des Oberrheintals. Die Störungen zeigen einen abschiebenden Charakter mit der Senkung der jeweiligen westlichen Scholle. Zwei signifikante E-W verlaufende Störung folgen dem Neckartal. In dem Stadtteil Ziegelhausen verläuft eine Störung in Richtung NW-SE. Dies sind lediglich die Hauptstörungen im Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg.

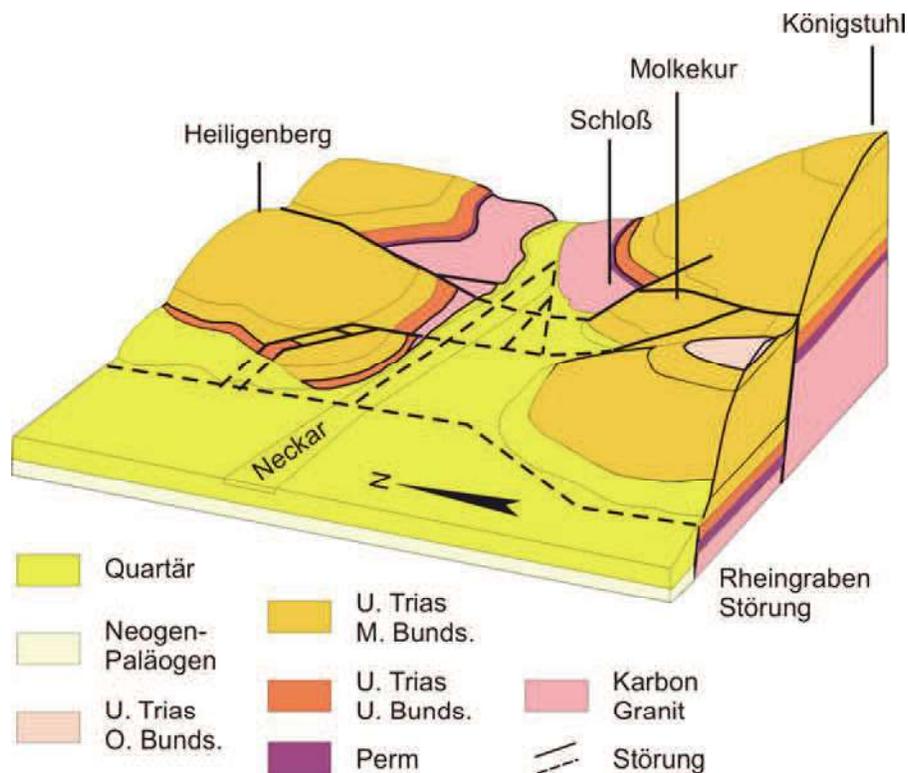


Abb. 6: Geologisches Blockbild des Heidelberger Stadtgebiets (verändert nach Rücklin und Schweizer 1971).

Wie das geologische Kartenbild und das geologische Blockbild zeigt (Abb. 3, 6) treten im Gemarkungsgebiet Heidelberg eine Vielzahl kleiner, nicht langanhaltende kartierbarer Störungen auf. Die Richtungen dieser Störungen variieren von NE-SW bis NW-SE. In den Aufschlüssen in Heidelberg entlang des Neckars zeigen die Gesteine des „Heidelberger Granits“ einen sehr intensiven und engständigen Durchtrennungsgrad (Abb. 8-20). Kluft- und Störungsflächen durchtrennen den Granit im cm bis dm Bereich. An manchen Aufschlüssen lassen sich entlang von Störungszonen Bereiche mit stark verändertem granitischem Gestein erkennen. Diese veränderten Gesteinsbereiche sind auf langanhaltende Einwirkung von wandernden Wässern entlang der Kluft- und Störungsflächen gekoppelt mit differenzierten Gesteinsbewegungen zurückzuführen. Die Kluft- und Störungsflächen zeigen alle Richtungen von NW-SE – NE-SW, die auch im übergeordneten Störungsbild in der geologischen Karte zu sehen sind (Abb. 3). Der Durchtrennungsgrad ist in einigen Bereichen so stark, dass die Hänge und Felswände durch Stahlmatten und Stahlnetze mit Ankern gesichert werden müssen (Abb. 14; Lokation 2 und 6 in Abbildung 7).



Abb. 7: Lokationen mit Aufschlüssen des „Heidelberger Granits“. Die Nummerierung entspricht den Fotos, die in den Abbildungen 8-20 wiedergegeben sind.



Abb. 8: Granitaufschluß an der nördlichen Seite der Scheffelstraße im Stadtteil Neuenheim. Enge Zerteilung des Gesteins und deutliche Verwitterung. (Nr. 1 in Abb. 7).



Abb. 9: Granitaufschluß an der nördlichen Seite der Ziegelhäuser Landstraße (L534) im Stadtteil Neuenheim. Enge Zerteilung des Gesteins und deutliche Störungsflächen. (Nr. 2 in Abb. 7).



Abb. 10: Granitaufschluß an der nördlichen Seite der Stiftsstraße im Stadtteil Neuenheim. Enge Zerteilung des Gesteins und deutliche Störungsflächen. (Nr. 3 in Abb. 7).

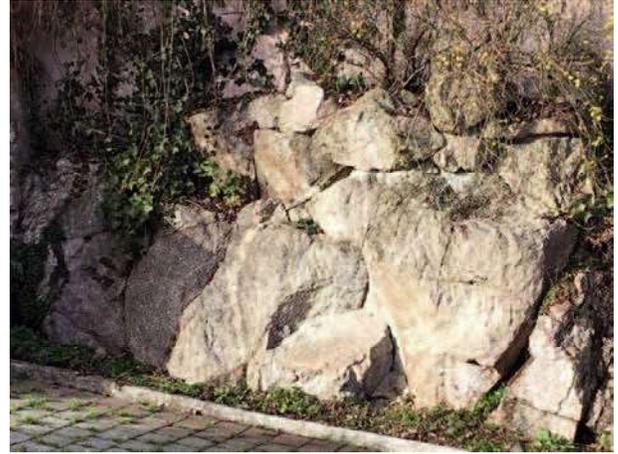


Abb. 11: Granitaufschluß an der nördlichen Seite am Neuer Weg im Stadtteil Ziegelhausen. Enge Zerteilung des Gesteins und deutliche Störungsflächen. (Nr. 4 in Abb. 7).



Abb. 12: Granitaufschluß an der südlichen Seite der Schlierbacher Landstraße (B 37) im Stadtteil Schlierbach. Enge Zerteilung des Gesteins. (Nr. 5 in Abb. 7).



Abb. 13: Granitaufschluß an der südlichen Seite der Schlierbacher Landstraße (B 37) im Stadtteil Schlierbach. Enge Zerteilung des Gesteins und deutliche Störungsflächen. (Nr. 6 in Abb. 7).



Abb. 14: Granitaufschluß an der südlichen Seite der Schlierbacher Landstraße (B 37) im Stadtteil Schlierbach. Enge Zerteilung des Gesteins. (Nr. 7 in Abb. 7).



Abb. 15: Granitaufschluß an der südlichen Seite der Schlierbacher Landstraße (B 37) im Stadtteil Schlierbach. Enge Zerteilung des Gesteins, und Auftreten von Quarzgängen. (Nr. 8 in Abb. 7).



Abb. 16: Granitaufschluß an der südlichen Seite der Schlierbacher Landstraße (B 37) im Stadtteil Schlierbach. Enge Zerteilung des Gesteins, Auftreten von Quarzgängen, Störungsfläche. (Nr. 8 in Abb. 7).

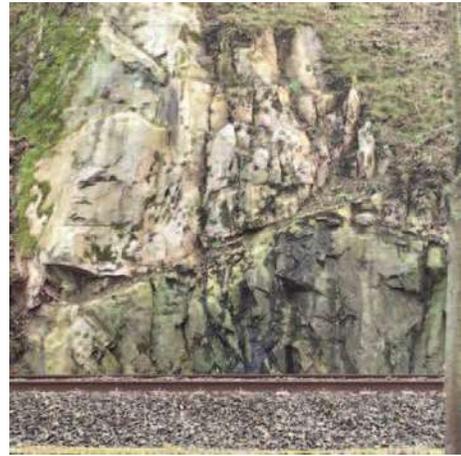


Abb. 17: Granitaufschluß an der südlichen Seite der Schlierbacher Landstraße (B 37) im Stadtteil Schlierbach. Enge Zerteilung des Gesteins, Störungsfläche. (Nr. 9 in Abb. 7).



Abb. 18: Granitaufschluß an der südlichen Seite der Schlierbacher Landstraße (B 37) im Stadtteil Schlierbach. Enge Zerteilung des Gesteins. (Nr. 10 in Abb. 7).



Abb. 19: Granitaufschluß an der südlichen Seite der Schlierbacher Landstraße (B 37) im Stadtteil Schlierbach. Enge Zerteilung des Gesteins. (westl. Nr. 10 in Abb. 7).



Abb. 20: Granitaufschluß an der südlichen Seite des östlichen Ausgangs vom Schloßbergtunnel im Stadtteil Altstadt. Enge Zerteilung des Gesteins. (Nr. 11 in Abb. 7).

4.3 Erdbeben

Die Lage des Gemarkungsgebiets der Stadt Heidelberg am Rand des tektonisch aktiven Oberrheingrabens führte in der dokumentierten Vergangenheit (1.000 Jahre) zu Erdbeben (Abb. 21). Diese Erdbeben sind lokalisiert an Störungen im Teilgebiet Kristallin der östlichen GroÙeinheit von Heidelberg (Barth et al. 2015). Das letzte dokumentierte Erdbeben im Heidelberger Raum (Ritter et al. 2009) erfolgte an der Störung, die im östlich der Grabenrandstörung in N-S Richtung am MPI für Kernphysik und dem EMBL verläuft (östlich Bierhelderhof; Abb. 3, 21, 22). Entlang dieser Störung ereignete sich zwei Erdbeben im Februar und März 2005 mit der Magnitude $M_L = 2,8$ und $M_L = 2,4$. Das zweite Erdbeben wurde von einem Nachbeben mit der Magnitude $M_L = 1,5$ begleitet. Das Erdbeben im März 2005 war in einem Radius von 20 km um das Bebenzentrum spürbar und wurde bis in eine Entfernung von 350 km an Erdbebenstationen gemessen. Die Koordinaten des Erdbebens variieren je nach Messstation zwischen $49.3794 - 49.360$ N° und $8.7056 - 8.7540$ E° und damit auch die Lage entlang der Störungszone, bzw. im Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg. Ebenfalls variierte die Tiefe des Erdbebens zwischen 10 km und < 2 km (Abb. 22). Ein Erdbeben in einer Tiefenlage von < 2 km würde sich in einem Endlager auswirken, da das Endlager in einem Tiefenbereich von 300m – 1100m gebaut werden soll.

**Schadenserdbeben in Baden-Württemberg
seit 1000 n. Chr.**

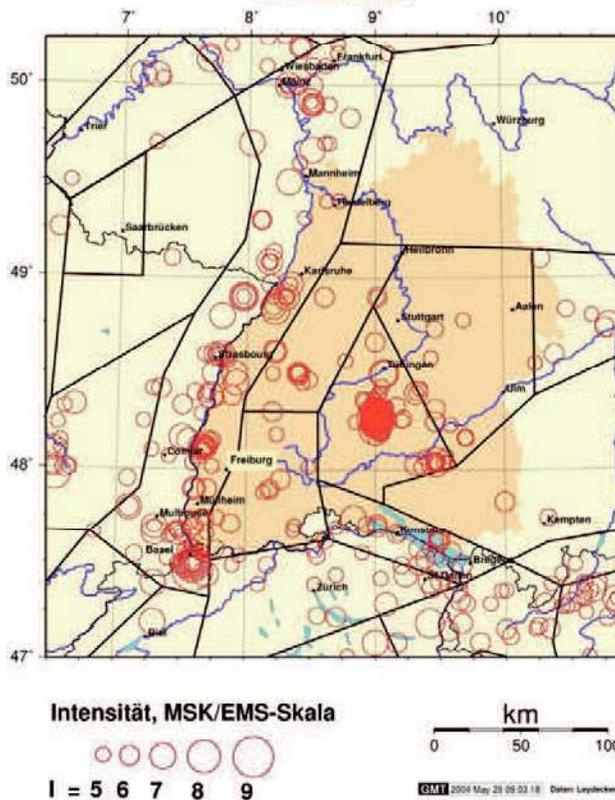


Abb. 21: Karte der Erdbeben in den letzten 1.000 Jahren in Baden-Württemberg. (LGRB Webseite).

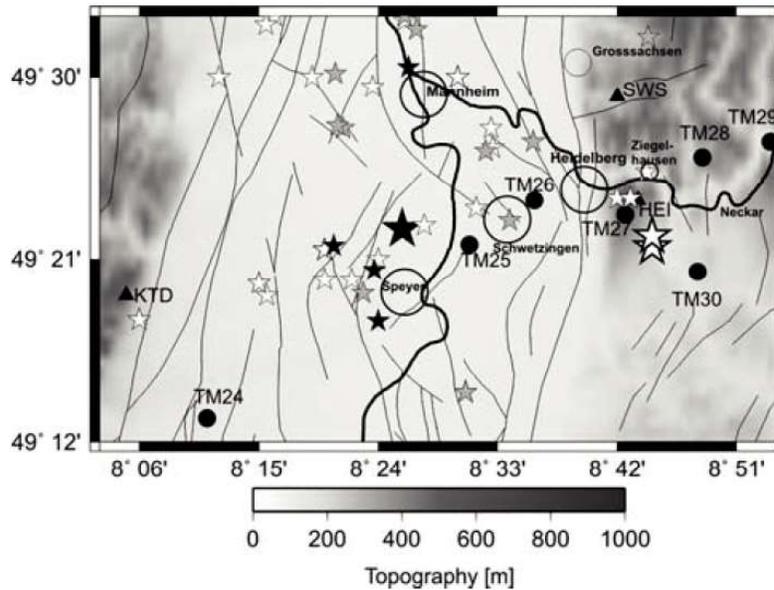


Abb. 22: Karte eines Gebiets zwischen Speyer und Heidelberg mit Lokationen der Erdbeben im Zeitraum 800 – 2005. Drei große Sterne zeigen die Erdbeben von 2005. Die kleinen Sterne die Erdbeben zwischen 800 – 2004. Die Tiefenlage der Hypozentren ist: weiß = 0-10 km; grau = 10-20 km; schwarz = >20 km (Ritter et al. 2009).

4.4 Vertikalbewegungen (Geodäsie-Daten)

In den letzten 10 Jahren wurden verschiedene wissenschaftliche Studien durchgeführt, die zum Ziel hatten, die Vertikalbewegungen im und um den Oberrheingraben zu vermessen (Fuhrmann et al. 2013, 2014; Fuhrmann 2016). Basierend auf den Daten von wiederholten Messungen seit 1891 an den gleichen Messpunkten entlang der gleichen Wegstrecken wurden die Größen der vertikalen Bewegungen bestimmt (Fuhrmann et al. 2014). Diese vertikalen Bewegungen schließen eine Hebung sowie eine Senkung der Gesteine bezogen auf N.N. ein. Die Ergebnisse zeigten, dass die Raten der vertikalen Bewegung im Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg um 0,5 mm/a mit einer Standardabweichung von 0,3 mm/a liegen (Abb. 23). Dieser Wert ist niedriger als der vorgegebene Wert von 1 mm/a als Grenzwert eines Ausschlusskriteriums.

4.5 Hydrogeologie

Die hydrogeologische Situation im westlichen Großbereich ist durch die Aquifereigenschaften der Holozänen und Pleistozänen Sedimente gekennzeichnet und sehr gut untersucht. Hier sei auf entsprechende Gutachten im Zuge der Untersuchungen zu einer möglichen geothermischen Nutzung des Untergrunds und der Bebauungsneuplanung in einzelnen Stadtteilen verwiesen. Im östlichen Großbereich spielen dagegen das Auftreten von Wegsamkeiten in den Sandsteinen und Kalksteinen der Trias, den Arkosen und Sandsteinen des Perms und den magmatischen Gesteinen des Karbons eine entscheidende Rolle für die vertikale und horizontale Zirkulation von Wässern. Diese Wässer haben ihren Ursprung als Regenwasser. Für die deszendente Bewegung von rezenten Wässern sind die Permeabilitätseigenschaften der Sedimentgesteine und die Klüfte und Störungen als Wegsamkeiten entscheidend. Um Heidelberg herum sind einige Quellen lokalisiert. Diese Quellen treten oft an der Grenze vom Buntsandstein zum Tonstein des oberen Perms auf. Die Wasser-Wegsamkeiten im Buntsandstein sind überwiegend auf die Kluftsysteme zurückzuführen. In den magmatischen Gesteinen, die dem Buntsandstein und den permischen Gesteinen unterlagern, bilden Kluftsysteme und Störungen die Wasser-Wegsamkeiten. Daher ist die Betrachtung der Kluft – und Störungssysteme im „Heidelberger Granit“ von entscheidender Bedeutung für die Quantifizierung der absteigenden Wässer. Das engständige Auftreten von Kluft- und Störungssystemen im „kristallinen Wirtsgestein“ legt die Annahme nahe, dass in der Tiefe mit jungen Wässern zu rechnen ist. Weitere Untersuchungen sollten hier folgen.

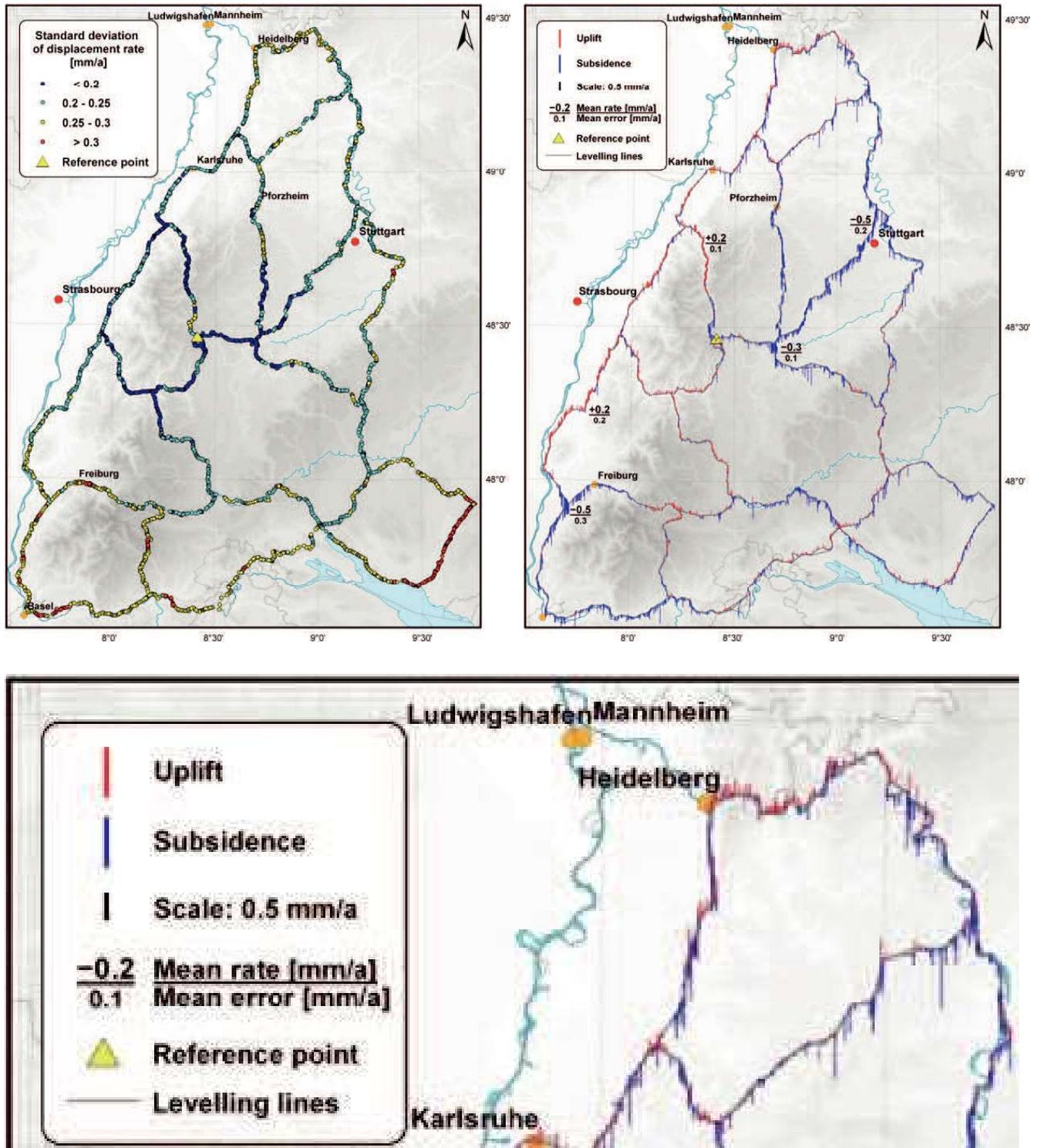


Abb. 23: Links oben: Standardabweichung der vertikalen Bewegungsmessungen. Rechts oben und unten Daten der Vertikalbewegungen in Teilen Baden-Württembergs (Fuhrmann et al. 2013).

6. Vergleich der Ausschlusskriterien eines potentiellen Standorts als Endlager für hochradioaktive Abfälle mit den geologischen Gegebenheiten im Gemarkungsgebiet Stadt Heidelberg

Großräumige Vertikalbewegungen: „Darunter werden großräumige geogene Hebungen von im Mittel mehr als 1 mm pro Jahr über einen Nachweiszeitraum von 1 Million Jahren verstanden“. Geodätischen Untersuchungen mit verschiedenen Analysemethoden weisen vertikale Hebungs- und Senkungsbewegungen von im Bereich von 0,5 mm pro Jahr mit einer Standardabweichung von bis zu 0,3 mm/a für das Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg nach (Abb. 23; Fuhrmann et al. 2013, 2014, Fuhrmann 2016). Diese bisherigen Messungen spiegeln die Zeit seit 1891 wider.

Aktive Störungszonen: „Darunter werden Brüche in den Gesteinsschichten der oberen Erdkruste wie Verwerfungen mit deutlichem Gesteinsversatz sowie ausgedehnte Zerrüttungszonen mit tektonischer Entstehung verstanden, an denen nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre Bewegungen stattgefunden haben“. Die Gemarkungsfläche der Stadt Heidelberg wird von einer Vielzahl aktiver Störungen durchzogen (Abb. 24). Die überwiegenden Richtungen sind N-S NW-SE und NE-SW. Diese großen regionalen Störungssysteme finden sich auch in den kleinen lokalen Störungssystemen und in den Kluft- und Störungssystemen im „Heidelberger Granit“ wieder. Der Durchtrennungsabstand, der durch diese offenen Störungs- und Kluftsysteme ausgelöst wird, liegt im cm – dm Bereich. Der Durchtrennungsgrad ist in einigen Bereichen so stark, dass die Hänge und Felswände durch Stahlmatten und Stahlnetze mit Ankern gesichert werden müssen. Die Kluft- und Störungsflächen zeigen alle Richtungen von NW-SE – NE-SW, die auch im übergeordneten Störungsbild in der geologischen Karte zu sehen sind. Viele der Störungen, die in Aufschlüssen zu sehen sind, führen zerriebenes und verwittertes granitisches Material. Diese veränderten Gesteinsbereiche sind auf langanhaltende Einwirkung von wandernden Wässern entlang der Kluft- und Störungsflächen gekoppelt mit differenzierten Gesteinsbewegungen zurückzuführen. Die Beobachtungen, die hier dargestellt sind, beruhen auf der geologischen Situation in den Oberflächenausschlüssen. Eine Fortsetzung in die Tiefe ist wahrscheinlich, jedoch unterliegt diese keiner Beobachtung. Bisher wurden keine Bohrungen bis in Teufen von 300m bis 1.100m im östlichen Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg durchgeführt. Ebenfalls ist zu berücksichtigen, dass

Seismische Aktivität: „Die örtliche seismische Gefährdung ist größer als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA 2011-01“. Unter Berücksichtigung der Klassifikation vom LGRB liegt die Gemarkungsfläche der Stadt Heidelberg in der Erdbebenzone 0 (Abb. 24). Unberücksichtigt bleibt hierbei jedoch, dass in den letzten 1.000 Jahren immer wieder Erdbeben entlang von Störungszonen im „kristallinen Wirtsgestein“ aufgetreten sind. Das nachweislich letzte Erdbeben ereignete sich im Jahr 2005 an einer Störung im Teilgebiet „Kristallines Wirtsgestein“ in der Gemarkungsfläche der Stadt Heidelberg.

KARTE DER ERDBEBENZONEN UND GEOLOGISCHEN UNTERGRUNDKLASSEN FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG 1:350 000



Abb. 24: Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen für Baden-Württemberg (LGRB-Webseite).

Vulkanische Aktivität: Im Raum des Untersuchungsgebiets liegt kein quartärer Vulkanismus vor.

Grundwasseralter: „In den Gebirgsbereichen, die als einschlusswirksamer Gebirgsbereich oder Einlagerungsbereich in Betracht kommen, sind junge Grundwässer nachgewiesen worden“. In den Bereichen des Teilgebiets „Kristallines Wirtsgestein“ im Gemarkungsfläche der Stadt Heidelberg existieren permeable Kluft- und Störungssysteme, die bis an die Erdoberfläche geöffnet sind. Diese Kluft- und Störungssystem bilden gute Wasser-Wegsamkeiten. Somit muss in der Tiefe mit jungen Grundwässern, die von der Erdoberfläche (Regen) nachgeliefert werden, gerechnet werden. Des Weiteren muss entlang des Neckars mit einer vom Fluss gesteuerten Wasser-Durchtränkung der granitischen Gesteine unterhalb und im Umgebungsbereich des Flusses gerechnet werden. Deren vertikale und horizontale Ausdehnung kann nur auf den Erfahrungen aus ähnlichen geologischen Situationen vermutet werden.

7. Stellungnahme

Meine gutachterliche Stellungnahme zu dem Potential eines Standorts zur Endlagerung von hochradioaktiven (wärmeproduzierenden) Abfallstoffen in der Gemarkungsfläche Heidelberg berücksichtigt die geologische Situation, die Ausschlusskriterien und die Mindestanforderungen des StandAG.

Ausschlusskriterien:

Die heute gemessenen großräumigen Vertikalbewegungen sind mit $0,5 \pm 0,3$ mm/a zwar unterhalb des Grenzwerts von 1 mm/a jedoch basieren diese Messergebnisse auf einem vergleichsweise kurzen Zeitraum von 130 Jahren. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass für den zu betrachtenden Zeitraum von 1 Million Jahren die vertikalen Bewegungen größer als 1 mm/a sein werden.

Im östlichen Gemarkungsgebiet (=“kristallines Wirtsgestein“) der Stadt Heidelberg sind aktive Störungszonen bekannt. Im kristallinen Wirtsgestein treten N-S, NW-SE und NE-SW Störungssysteme unterschiedlichen Größenskalen von Kilometer Erstreckung bis cm Größe auf. Der Durchtrennungsabstand der kristallinen Wirtsgesteine, der durch offene Störungs- und Kluftsysteme ausgelöst wird, liegt im cm – dm Bereich. Erdbeben in den letzten 1.000 Jahren im östlichen Gemarkungsgebiet weisen auf den Einfluss der großtektonischen Bewegungen im Zuge der Entwicklung des Oberrheingrabens hin. Die geologische Entwicklung des Oberrheingrabens ist nicht abgeschlossen. Somit ist in den vorgesehenen 1 Million Jahren mit weiteren Erdbeben und Bewegungen entlang der vorhandenen Störungssysteme zu rechnen. Die Anzahl der Erdbeben in den letzten 1.000 Jahren scheint gering. Jedoch ist die Datenbasis eher sehr gering. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass in diesen 1.000 Jahren eine höhere Anzahl von Erdbeben erfolgt sind, die eine höhere Magnitude aufwiesen. Der im Gestein an der Erdoberfläche vorhandene Durchtrennungsgrad und die vorhanden offenen Kluft- und Störungssysteme machen das Auftreten von jungen Grundwässern im tieferen Untergrund (300m – 1.000m) wahrscheinlich. Das Vorhandensein des Neckars legt zusätzlich einen Einfluss auf die Menge des zirkulierenden Grundwassers im tieferen Untergrund nahe.

Mindestanforderungen:

Die Mindestanforderung zur Gebirgsdurchlässigkeit von $k_f = 10^{10}$ m/s ist bei dem vorhanden Durchtrennungsgrad im cm – dm Bereich nicht gewährleistet und kann nur mit hohem technologischem und finanziellem Aufwand erzeugt werden. Nach Aussagen eines BGE-Mitarbeiters während der Fachkonferenz Teilgebiete vom 05. 02. 2021 – 07. 02. 2021 wird eine

Fläche von 6 km² für den Standort des Endlagers für hochradioaktive Abfälle benötigt. Eine Fläche von 6 km² wurde mit der geologischen Karte verschnitten (Abb. 24). Sichtbar wird hier durch, dass es keine so große Fläche im Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg gibt, bei der das „Kristalline Wirtsgestein“ nicht von aktiven und „passiven“ Störungen durchtrennt wird. Somit ist die Anlage eines Endlagers im Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg nicht möglich.

Die Erdbebenaktivität entlang von Störungen im östlichen Gemarkungsgebiet der Stadt Heidelberg garantiert keinen Erhalt der notwendigen Barrierewirkung.

Zusammenfassend halte ich die Gemarkungsfläche der Stadt Heidelberg für vollkommen ungeeignet als Standort zum Bau und der Betreibung eines Endlager für wärmeproduzierende hochradioaktive Abfälle.



Prof. Dr. [REDACTED]

26. 02. 2021

8. Literatur

- Barth, A., Ritter, J.R.R., Wenzel, F. (2015). Spatial variations of earthquake occurrence and coseismic deformation in the Upper Rhine Graben, Central Europe. *Tectonophysics* 651-652, 172-185.
- Fuhrmann, T. (2016). Surface displacements from Fusion of Geodetic Measurement Techniques applied to the Upper Rhine Graben Area. Dissertation KIT, 264 pp.
- Fuhrmann, T., Heck, B., Knöpfler, A., Masson, F., Mayer, M., Ulrich, P., Westerhaus, M., Zippelt, K. (2013) Recent surface displacements in the Upper Rhine Graben - Preliminary results from geodetic networks. *Tectonophysics* 602(0), 300–315. doi:[10.1016/j.tecto.2012.10.012](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.10.012)
- Fuhrmann, T., Westerhaus, M., Zippelt, K., Heck, B. (2014). Vertical displacement rates in the Upper Rhine Graben area derived from precise levelling. *J. Geod.* 88, 773-787.
- Kraatz, R. (1983). Ein „Pali“ im Dossenheimer Quarzporphyr. *Aufschluß* 34, Heidelberg.
- Ritter, J.R.R., Wagner, M., Bonjer, K.P., Schmidt, B. (2009). The 2005 Heidelberg and Speyer earthquakes and their relationship to active tectonics in the central Upper Rhine Graben. *Int. J. Earth Sci.* 98, 697-705.
- Rücklin, H. und Schweitzer, V. (1971). The Geology and geomorphology of Heidelberg and its Surroundings. In Müller, G.: *Sedimentology of Parts of Central Europe. Guidebook 7. Int. Sediment. Congr.* 1971, 337-344.

Anhang: Begriffsdefinitionen nach dem Standortauswahlgesetz – StandAG

(wörtlich übernommen aus dem StandAG)

BASE: Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung

BGE: Bundesgesellschaft für Endlagerung (= Vorhabenträger im StandAG)

Endlagerung: die Einlagerung radioaktiver Abfälle in eine Anlage des Bundes nach § 9a Absatz 3 Satz 1 des Atomgesetzes (Endlager), wobei eine Rückholung nicht beabsichtigt ist;

Einlagerungsbereich: der räumliche Bereich des Gebirges, in den die radioaktiven Abfälle eingelagert werden sollen; falls das Einschlussvermögen des Endlagersystems wesentlich auf technischen und geotechnischen Barrieren beruht, zählt hierzu auch der Bereich des Gebirges, der die Funktionsfähigkeit und den Erhalt dieser Barrieren gewährleistet;

Endlagerbereich: der Gebirgsbereich, in dem ein Endlagersystem realisiert ist oder realisiert werden soll;

Deckgebirge: der Teil des Gebirges oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und bei Endlagersystemen, die auf technischen und geotechnischen Barrieren beruhen, oberhalb des Einlagerungsbereichs;

Sicherheitsanforderungen: die nach § 26 Absatz 3 durch Rechtsverordnung zu erlassenden Bestimmungen, die festlegen, welches Sicherheitsniveau ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in tiefen geologischen Formationen zur Erfüllung der atomrechtlichen Anforderungen einzuhalten hat;