

DEZERNATE GEOLOGISCHE GRUNDLAGEN;
GEOLOGISCHE BELANGE DER LANDESPLANUNG,
GEORISIKEN; ROHSTOFFGEOLOGIE UND GEOENERGIEN

Die Forschungsbohrung in Frankfurt Rebstock – Erste Ergebnisse

Sven Rumohr, Johann-Gerhard Fritsche, Benjamin Homuth,
Nicola Hug-Diegel, Anne Kött, Jan Marx, Charlotte Redler



🏗 Eine 1 060 m tiefe Forschungsbohrung in Frankfurt wurde vom Hessischen Wirtschaftsministerium gefördert, von der Stadt Frankfurt in Auftrag gegeben und vom HLNUG wissenschaftlich begleitet. Sie erbrachte aufregende neue Erkenntnisse über den tiefen Untergrund Frankfurts und bestätigte eine vom HLNUG postulierte geothermische Anomalie, die eine wichtige Rolle bei der Wärmeversorgung Frankfurts in der Zukunft spielen kann.

Forschungsbohrung Frankfurt Rebstock: Idee und Umsetzung

Zu den Aufgaben der geologischen Landesaufnahme zählt unter anderem die Entwicklung von Planungsgrundlagen zur umweltverträglichen Nutzung des Untergrunds. Daten und Expertise des HLNUG als staatlicher geologischer Dienst des Landes Hessen stellen die Grundlage zur Entwicklung innovativer Lösungen für die Nutzung und den Umgang mit der begrenzten Ressource „Untergrund“ dar.

Die in der Vergangenheit aus zahlreichen staatlichen, privaten und gewerblichen Vorhaben stammenden und beim HLNUG fachlich aufbereiteten Daten werden zur Grundlage für die Ermittlung des Untergrundpotenzials für verschiedenste Nutzungen, beispielsweise Rohstoffversorgung, Wasserversorgung oder Energiegewinnung. Bei der Auswertung vorhandener Daten zeigt sich einerseits das Potenzial, andererseits können sich aber auch Defizite bzw. zusätzlicher Erkundungsbedarf zeigen.

Zur Erkundung der tatsächlichen geologischen Gegebenheiten und geothermischen Potenziale im tieferen Untergrund ließ die Stadt Frankfurt am Main (Klimareferat) als Bauherrin von Anfang November 2022 bis August 2023 am Standort des Rebstockbades die „Forschungsbohrung Rebstock“ durchführen. Das Hessische Wirtschaftsministerium (HMWEVW) sowie die Stadt Frankfurt stellten hierfür finanzielle Mittel zur Verfügung. Mit der bohrtechnischen Planung, der Erarbeitung von Unterlagen zu bergrechtlichen Genehmigungsverfahren und der Bauaufsicht wurde die Firma Geologische Landesuntersuchungen GmbH, Freiberg (GLU) beauftragt. Die Bohrarbeiten wurden von der Firma Daldrup & Söhne AG ausgeführt. Das HLNUG konzipierte und leitete im Rahmen der geologischen Landesaufnahme federführend die wissenschaftlichen Untersuchungen unter Beteiligung mehrerer Kooperationspartner: Institut für Angewandte Geowissenschaften der TU Darmstadt, Lehrstuhl für Hydrogeologie/Hydrochemie der TU Bergakademie Freiberg, Leibnitz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) sowie Vulcan Energy Subsurface Solutions GmbH. Nach Abschluss der wissenschaftlichen Untersuchungen wurde die Bohrung von der BäderBetriebe Frankfurt GmbH übernommen.

Warum eine tiefe Bohrung in Frankfurt?

Die bis zum Frühjahr 2023 tiefste Bohrung im Frankfurter Stadtgebiet wurde zwischen 1881 und 1883 in Sachsenhausen bis auf eine Tiefe von 286 m abgeteuft und erreichte gemäß dem in v. REINACH (1894) veröffentlichten Schichtenverzeichnis das Rotliegend im Tiefenbereich von 268–283 m. Der in dieser Tiefe beobachtete Zutritt mindestens 30 °C warmen Wassers mit einem Lösungsgehalt von 2500 mg/l (überwiegend NaCl) war der früheste Hinweis auf ein Thermalwasservorkommen. Auch zu späteren Zeitpunkten wurde gelegentlich Thermalwasser erschlossen (KÜMMERLE & SEIDENSCHWANN 2009), die Bohrungen in der Regel aber aufgrund einer fehlenden Nutzbarkeit wieder verschlossen.

Im Zusammenhang mit der Errichtung großer geothermischer Anlagen wurden in den vergangenen fast 20 Jahren an zahlreichen Standorten im Bereich von Frankfurt Wärmeleitfähigkeits- und Temperaturdaten des Untergrundes bis in eine Tiefe von meist 100 m, teils bis 250 m erhoben. Die erste gezielte Auswertung dieser Daten durch das HLNUG im Jahr 2012 (RUMOHR 2013) belegte die Existenz einer oberflächennahen Temperaturanomalie im westlichen Innenstadtgebiet von Frankfurt, die sich mit Temperaturen von 18–23 °C in 100 m und in einem Fall mit 26 °C in 150 m Tiefe deutlich vom weiteren Umfeld mit durchschnittlichen 12–14 °C in gleichen Tiefen abhebt (Abb. 1). Der geothermische Gradient, der in Deutschland im Mittel 3 Kelvin Temperaturzunahme pro 100 m Tiefe beträgt, liegt im Bereich der Anomalie bei bis zu 9 K/100 m, der geothermische Wärmefluss bei bis zu 120 mW/m², die Wärmeleitfähigkeit ist mit 1,3–1,8 W/m/K gering.

Aufgrund der vorliegenden Daten ist davon auszugehen, dass das Thermalwasservorkommen vermutlich von Tiefenwässern aus dem Oberrheingraben gespeist wird. Dieses Vorkommen bedingt einen erhöhten geothermischen Wärmestrom in den überlagernden Schichten und führt zu den erhöhten Temperaturen im oberflächennahen Bereich. Da in Messstellen und Brunnen mit Tiefen um 100–150 m neben einer erhöhten Temperatur auch meist eine erhöhte NaCl-Konzentration nachgewiesen wird, ist zu vermuten, dass es auch einen Aufstieg von Thermalwasser gibt.

Die Forschungsbohrung (FB) hat die Möglichkeit eröffnet, diese Hypothese zur Ursache der oberflächennahen geothermischen Anomalie und zudem die Möglichkeit der Nutzung des prognostizierten Thermalwasservorkommens zu untersuchen. Außerdem sollten grundlegende Erkenntnisse über die tatsächliche geologische Schichtabfolge im tiefen Untergrund gewonnen werden.

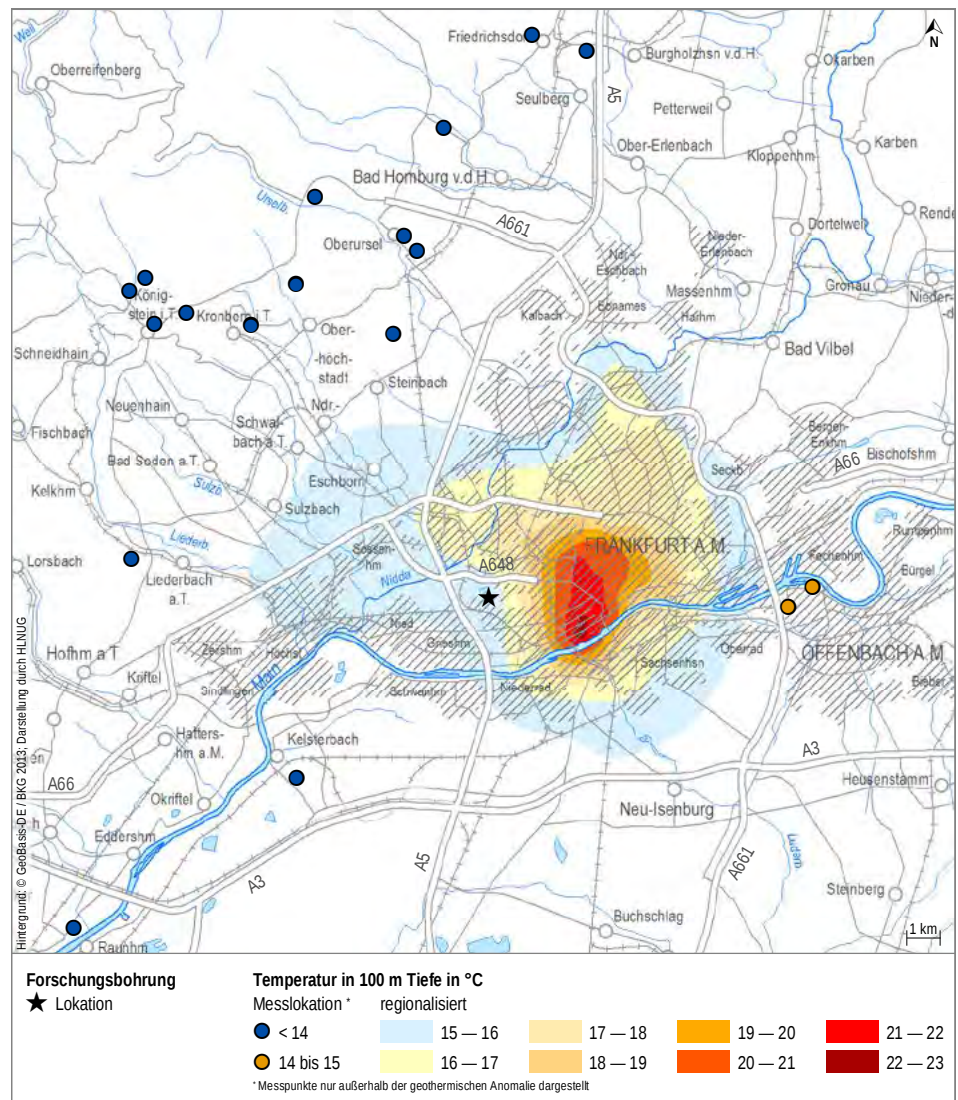


Abb. 1: Karte der geothermischen Anomalie Frankfurt a.M. © HLNUG

Die Existenz einer positiven geothermischen Anomalie im Untergrund dieses dicht besiedelten urbanen Raumes, in dem andere regenerative Energieformen wie Windkraft, Solarthermie oder Photovoltaik nur eingeschränkt zum Einsatz kommen können, ist ein äußerst günstiger Umstand und als eine große Chance zur Erreichung energie- und klimapolitischer Ziele in einer solchen Metropolregion zu werten.

Auf Grundlage der spärlich vorhandenen geologischen Daten über den tieferen Untergrund wurde das Rotliegend am Standort Rebstock in einer Tiefenlage von ca. 500–800 m erwartet (Abb. 2). Die Planung sah daher eine Bohrtiefe von rd. 800 m vor. In den Rotliegendeschichten, welche auch das Thermalwasser führen, sollten durchgehende Bohrkerne gewonnen werden. Die Kernstrecke sollte zudem zur Durchführung hydraulischer und hydrochemischer Untersuchungen zunächst nicht verrohrt werden.

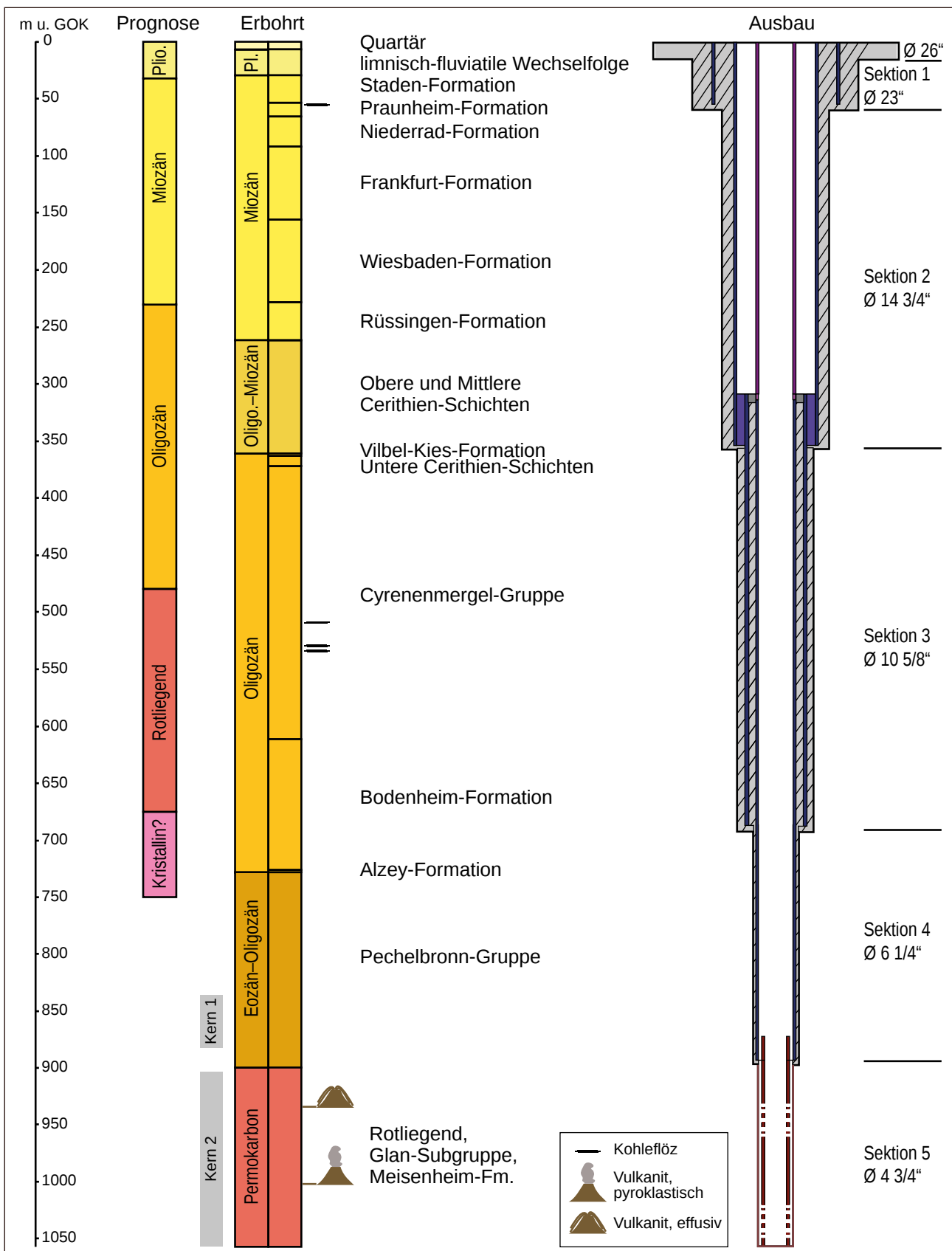


Abb. 2: Erbohrtes Schichtprofil (Mitte) im Vergleich mit dem prognostizierten Profil (links), Bohrungsausbau (ganz rechts)

Nachdem das Rotliegend aufgrund einer unerwartet hohen Mächtigkeit der tertiären Schichtenfolge bei einer Bohrtiefe von 800 m noch nicht erreicht war, wurden die Bohrarbeiten bis zu einer Bohrtiefe von 1 060 m fortgesetzt.

Geologische Übersicht

Der Ansatzpunkt der Forschungsbohrung liegt zwischen Oberrheingraben und Hanau-Seligenstädter-Senke. Bei beiden Strukturen handelt es sich um Teile des Europäischen Känozoischen Riftsystems, welches maßgeblich die Geologie und Morphologie des Rhein-Main-Gebiets bestimmt. Im Nordwesten werden diese känozoischen Strukturen vom Taunus, einem Teil des Rheinischen Schiefergebirges, begrenzt, im Süden von Odenwald und Spessart, die Teil der Mitteldeutschen Kristallinzone sind.

Während des Rotliegend vor ca. 258-299 Millionen Jahren wurden in einem WSW-ENE verlaufenden System intramontaner Molassebecken, das von Lothringen über Hessen bis nach Sachsen-Anhalt reichte, vorherrschend in Flüssen und Seen Sand- und Tonsteine abgelagert, in welche vulkanische Lagen eingeschaltet sind.

Im Tertiär, etwa ab dem Eozän, senkte sich der Oberrheingraben ab. Durch Flüsse und Seen wurden Tone, Sande und Kiese abgelagert. In Zeiten besonders starker Absenkung kam es zu Meereseinbrüchen und der Ablagerung mariner Sedimente, z. B. Kalkstein und Mergel. So bestand beispielsweise im Oligozän vor ca. 31 Millionen Jahren zeitweise eine Verbindung über die Niederhessische Senke bis zur Paläo-Nordsee. Nach Süden reichte der Meeresarm möglicherweise bis zur Paratethys.

Im Quartär, ab 2,6 Millionen Jahren vor heute, wurde der Sedimentationsraum durch die Ablagerungen des Mains und Einwehungen von Löss geprägt.

Geologie der Bohrung

Nachfolgend werden die in der Forschungsbohrung Rebstock ange-troffenen Gesteinseinheiten und deren stratigraphische Einstufung vom Jüngsten ins Älteste beschrieben (Abb. 2). Bis 838,5 m Bohrtiefe wurde im Lufthebe- und direkten Rotary-Bohrverfahren lediglich Bohrklein („Cuttings“) aus der Bohrspülung entnommen. Ab 838,5 m wurden im Seilkern-Bohrverfahren durchgehende Bohrkernkerne gewonnen, mit einer Unterbrechung zwischen 880,5 und 902,5 m.

Quartär (0–6,7 m)

Nach den obersten 0,5 m anthropogenen Ablagerungen folgen bis 6,7 m eiszeitliche Schotter des Mains in Form von hellgraubraunen Terrassensanden und -kiesen.

Tertiär (6,7–900 m)

Die obersten Schichten des Tertiärs werden von kalkfreien, meist gräulichen, teils braunkohlehaltigen Sanden und Tonen der **limnisch-fluviatilen Wechselfolge** des Oberpliozäns (6,7–29 m) aufgebaut.

Die in weiten Teilen des Stadtgebiets abgelagerten miozänen Basalte fehlen an dieser Stelle. Es folgen die Sedimente des Untermiozäns mit Tonen, Schluffen und Sanden der **Staden-Formation** (29–53 m), welche, ähnlich wie die pliozänen Ablagerungen, in einer Seen-Flüsse-Landschaft (limnisch-fluviatil) entstanden sind. Darunter folgen die Relikte von Sumpfwäldern und Sümpfen in Form von Braunkohlen und bituminösen (Mergel-)Tonen der **Praunheim-Formation** (53–65 m). Im Liegenden schließt sich die **Niederrad-Formation** (65–92 m) mit ihren dunkelgrauen, teils grün- und bläulichgrünen Schluffmergeln und Mergeltonen an (Abb. 3), in die, neben dünnen Dolomitsteinbänken, immer wieder Algenriffe eingeschaltet sind. Sie sind Ausdruck eines relativ flachen, lichtdurchfluteten Gewässers mit limnisch-brackischer Salinität (Salzgehalt). Deutlich eintöniger dagegen sind die **Frankfurt-Formation** (92–156 m) und **Wiesbaden-Formation** (156–229 m) – aufgrund ihres weiten Verbreitungsgebiets in der Frankfurter Innenstadt auch „Frankfurter Tone“ und wegen des durchgängigen Vorkommens von Hydrobien (kleine Wattschnecken) früher auch als „Hydrobienschichten“ bekannt. Sie bestehen aus dunkelgrauen Mergeltonen, in die vereinzelt geringmächtige Dolomitsteinbänke und Algenriffe eingeschaltet sind und sind die Zeugen eines brackischen bis schwach marinen Binnengewässers. Die Obergrenze der Wiesbaden-Formation wird von einem markanten Horizont (156–160 m) aus nahezu kalkfreien Sanden und Tonen ausgebildet. Darunter folgen die Dolomitsteine und Mergeltone der **Rüssingen-Formation** (229–262 m), die durch das Leitfossil *Hydrobia inflata* stratigraphisch gut abgegrenzt werden kann. Die Ablagerung geschah in einem flachen Binnengewässer mit stark schwankenden Salinitäten.

Es schließen sich die **Oberen und Mittleren Cerithien-Schichten** (262–362 m) an, die in erster Linie aus kalksandigen, gräulichen Mergeltonen und Mergeln bestehen, in die gelegentlich Kalkstein- und Dolomitsteinbänke eingeschaltet sind. Reste von Schnecken und Muscheln sind vergleichsweise häufig. Als Ablagerungsraum wird ein relativ flaches Gewässer mit brackischen bis annähernd marinen Salinitäten angenommen. Unterbrochen werden die tonig-mergeligen Sedimente der

Cerithien-Schichten von stark sandigen Feinkiesen der **Vilbel-Kies-Formation** (362–364 m), welche als Schüttungen aus dem Bereich des Rheinischen Schiefergebirges im Norden gedeutet werden. Unterhalb davon schließen sich die **Unteren Cerithien-Schichten** (364–373 m) mit Mergeln, Algenkalksteinen und schwach verfestigten, kalkigen Feinsanden an.

Im Liegenden bilden Schluffmergel, Mergeltone, Mergel sowie kalkige, schwach verfestigte Feinsande die **Cyrenenmergel-Gruppe** (373–606 m). Lagenweise treten Fossilien von Schnecken und Muscheln auf. Im unteren Abschnitt sind zudem kleinere Braunkohleflöze eingeschaltet. Die Artenvielfalt ist vergleichsweise gering und deutet auf brackische Verhältnisse hin, wohingegen die Kohleflöze die zeitweise starke Aussüßung des Gewässers widerspiegeln. Deutlich monotoner hingegen sind die Ablagerungen der **Bodenheim-Formation** (606–728 m). Diese, ehemals als „Rupelton“ bezeichnet, setzen sich größtenteils aus dunkelolivgrauen bis dunkelbraunen Mergeltonen zusammen. Makrofossilien sind selten, jedoch kann – typisch für marine Bedingungen – eine artenreiche Foraminiferenfauna (Einzeller) vorgefunden werden (Abb. 3). Die im Liegenden der Bodenheim-Formation befindliche **Alzey-Formation** (728–730 m), auch „Meereskalk“ genannt, wurde in Form eines kalkhaltigen, feinsandigen Schluffes erbohrt und stellt den küstennahen Aufarbeitungshorizont der zweiten Rupel-Transgression (Meeresvorstoß) dar.

Den unteren Abschluss der tertiären Schichtenfolge bildet die Pechelbronn-Gruppe (730–900 m). Sie lässt sich dreiteilen, wobei die Oberen Pechelbronn-Schichten größtenteils aus grauen, teils kieshaltigen Quarzsanden in schluffiger Matrix bestehen, in die bunte Ton-/Schluffsteine eingeschaltet sind. Es handelt sich um fluviatile Bildungen. Die Mittleren Pechelbronn-Schichten in ihrer typisch brackisch-marinen Ausbildung (Erste Rupeltransgression) konnten in der Bohrung bisher nicht zweifelsfrei identifiziert werden. So enthalten die Proben bei 790–814 m neben grauen und bunten Ton-/Schluffsteinen zwar, wenn auch nur untergeordnet, Mergel, jedoch fehlt die für diese Schichten typische Fossilfauna. Schwarzpelite (organikreiche, dunkle Tonsteine), die in der Literatur als Altwasserablagerungen gedeutet werden, sind dagegen häufig. Es ist denkbar, dass die brackisch-marinen Sedimente nicht bis in diese Region vorgedrungen sind. Die Unteren Pechelbronn-Schichten setzen sich aus bunten Ton-, Schluff- und Sandsteinen sowie Brekzien zusammen. Die Gesteine wurden fluviatil abgelagert. Gelegentlich kommen Wühl- und Grabgänge vor. Die bunten, meist roten und gelben Ton-/Schluffsteine weisen auf Phasen intensiver Bodenbildung hin (Abb. 3).

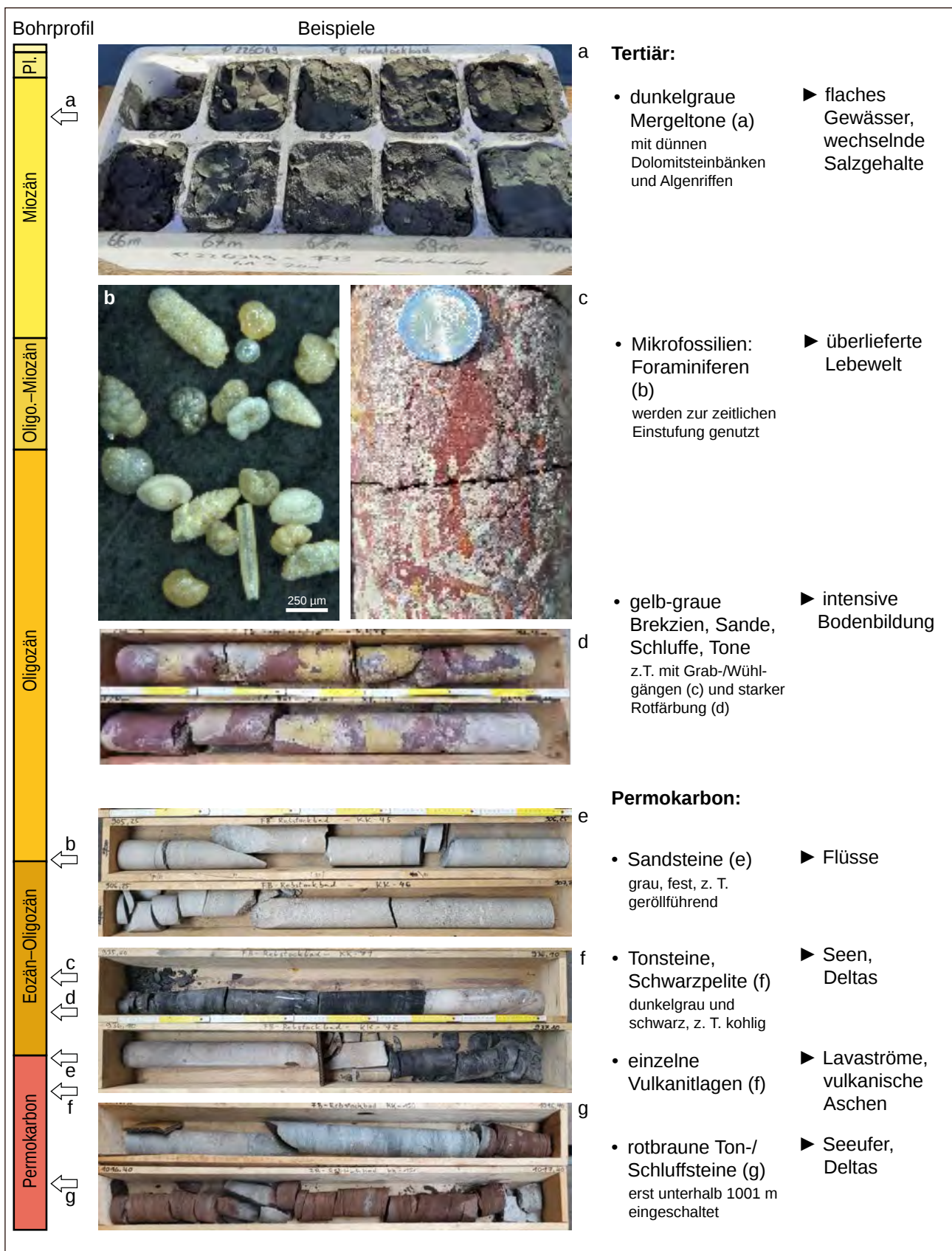


Abb. 3: Spülproben, Fossilien und Bohrkerne aus der FB Rebstock, mit exemplarischen Ableitungen der Ablagerungsmilieus

Permokarbon (900–1 060 m)

Ab 902,5 m wurden bis zur Endteufe Bohrkerne gewonnen.

Von 912–922 m Teufe dominieren graue, mittel- bis grobkörnige, feldspatreiche, feste Sandsteine und Konglomerate (Abb. 3). Sie sind Ablagerungen eines relativ energiereichen, sog. verwilderten Flusssystems.

Von 912–922 m folgt ein stark zerbohrter Abschnitt aus grauen Schluff- und Sandsteinen, die vermutlich in einer Störungszone tektonisch brekziiert wurden. Unterhalb von 922 m dominieren bis 944 m weiterhin graue Feinsand- und Schluffsteine, in die mehrere Schwarzpelite sowie einzelne dünne, schwarze Kohlelagen mit pyritisierten Pflanzenresten eingelagert sind. In einer der Schwarzpelite ist ein 90 cm mächtiger, basaltisch-andesitischer, sekundär stark alterierter Vulkanit eingeschaltet (Abb. 3). Von 944–977 m sind die Sandsteine tendenziell grobkörniger, enthalten jedoch weiterhin Schwarzpelit- und Kohlelagen. Die Sedimente dieses sandsteindominierten Bereichs entstanden in einem Flussdelta am Rand eines schlecht durchlüfteten Sees, in den vereinzelt vulkanische Ablagerungen gelangten.

Eine graue Konglomeratbank zwischen 977–980 m mit Geröllen bis 8 cm Durchmesser belegt größere Strömungsenergien in einer Fließrinne des Deltas.

Der Abschnitt von 980–1 035 m wird von einer Wechsellagerung von Ton-Schluffsteinen und Feinsandsteinen eingenommen. Die Sedimentfarbe ist zunächst weiterhin grau, erst unterhalb von 1 001 m sind einige rotbraune, meist tonig-schluffige Bereiche eingeschaltet (Abb. 3). Auffallend sind eine biogene Kalksteinlage mit Strukturen von Algenmatten, eine vulkanische Aschen-Lapillituff-Schicht sowie mehrere grünlichgraue feinkörnige Lagen, bei denen es sich ebenfalls um vulkanische Aschentuffe handeln könnte. Schwarzpelite und Kohlen kommen in diesem rot-grauen Abschnitt nicht vor. Die Sedimente wurden im relativ gut durchlüfteten Uferbereich eines Sees abgelagert, in den zeitweise vulkanische Aschen eingetragen wurden.

Unterhalb von 1 035 m schalten sich einige kiesige Sandsteine und Konglomeratlagen in die weiterhin feinkörnig dominierte, abwechselnd rote und graue Abfolge ein. Ab 1 055 m kommen auch Schwarzpelit- und sehr dünne Kohlelagen wieder vor. Dies spricht für wechselnd gut oder schlecht durchlüftete Bereiche eines Deltas in einen See, mit zeitweise hoher Strömungsenergie in Fließrinnen.

Die ab ca. 900 m erbohrten Festgesteine werden derzeit der Meisenheim-Formation (Glan-Subgruppe, frühes Rotliegend) zugeordnet. Es gibt je-

doch bislang noch keine Beweise, dass es sich nicht um Ablagerungen des Oberkarbons handelt. Sogar die Einstufung in das älteste Tertiär (Eozän bis Unter-Oligozän) bis zur Endteufe schien zunächst grundsätzlich denkbar, da die Ablagerungsmilieus in diesen drei Zeitabschnitten im Rhein-Main-Gebiet sehr ähnlich waren. Weitere Untersuchungen der in Schwarzpeliten und Kohlen enthaltenen Pollen, Sporen und Pflanzenreste (Palynologie, Paläobotanik), der Beschaffenheit und maximalen Versenkungstiefe der Kohlen (Kohlenpetrographie) sowie die Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung der Sandsteine und vulkanischen Gesteine (Dünnschliffmikroskopie, Mineralogie, Gesteinschemie) sollen hier Klarheit bringen.

Die korrekte stratigraphische Einstufung hat große Bedeutung, unter anderem für die Kenntnis der Paläogeographie, der Versenkungsgeschichte des Oberrheingrabens sowie nicht zuletzt der großtektonischen Strukturen und deren Verarbeitung in 3D-Modellen des Rhein-Main-Gebietes.

Bohrlochgeophysik und Pumpversuche

Zur Unterstützung der geologischen Interpretation (z. B. der stratigraphischen Einstufung) und zur Herleitung verschiedener Gesteinskennwerte sowie physikalischer und chemischer Eigenschaften wurden bohrlochgeophysikalische Messungen durchgeführt. Pumpversuche sollten Aufschluss über die hydraulischen Eigenschaften der verschiedenen Gesteinsschichten geben.

Bohrlochgeophysik

Die bohrlochgeophysikalischen Messungen erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) im Juli und August 2023. Zur Durchführung des Messprogramms wurden verschiedene Sonden verwendet und in das Bohrloch hinabgelassen. Aufgrund der Teufe der Bohrung von über 1 000 m und einer maximalen Messgeschwindigkeit der unterschiedlichen Sonden von ca. 1–10 m pro Minute dauerten die Messungen mehrere Tage. Einige Messungen konnten über die gesamte Länge der Bohrung (verrohrter und unverrohrter Teil) erfolgen, andere nur im unverrohrten untersten Teil der Bohrung, da eine Messung in der Verrohrung die Daten zu stark beeinflusst hätte und daher wissenschaftlich nicht sinnvoll gewesen wäre (z. B. akustischer TelevIEWer, Abb. 4).

Aufgrund der Instabilität des unverrohrten Bereiches der Bohrung mussten die Messungen zum Teil sektionsweise aus einem Bohrgestänge/einer Bohrkrone heraus erfolgen. Trotz mehrmaliger Versuche setzten

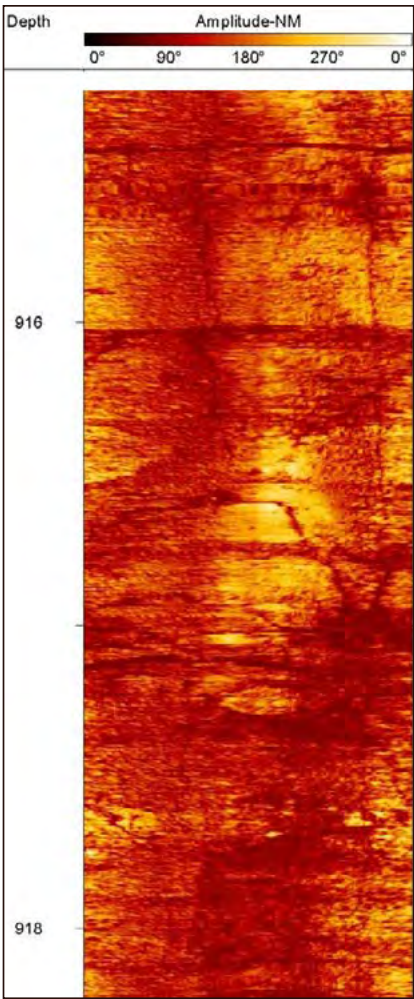


Abb. 4: Auszug aus dem akustischen Televiwer-Log (Amplitude des Erstein-satzes des akustischen Sig-nals) für den Tiefenbereich 915-918 m der FB Reb-stock, welches ein Abbild der gesamten (360° um-fassenden) Bohrlochinnen-wand darstellt. Im Log sind Störungsbereiche, Risse und Klüfte, die Rückschlüs-se auf Wasserwegsamkei-ten und das Spannungsfeld in der Tiefe liefern können, als Linien sichtbar.

die Sonden trotzdem aufgrund von Hindernissen im Bohrloch auf, so dass einige Messungen nicht wie ursprünglich geplant durchgeführt werden konnten. Tabelle 1 enthält eine Übersicht über alle bisher durchgeführten bohrlochgeophysikalischen Messungen in der Forschungsbohrung Rebstock und darüber, in welchem Tiefenbereich Messdaten gewonnen werden konnten.

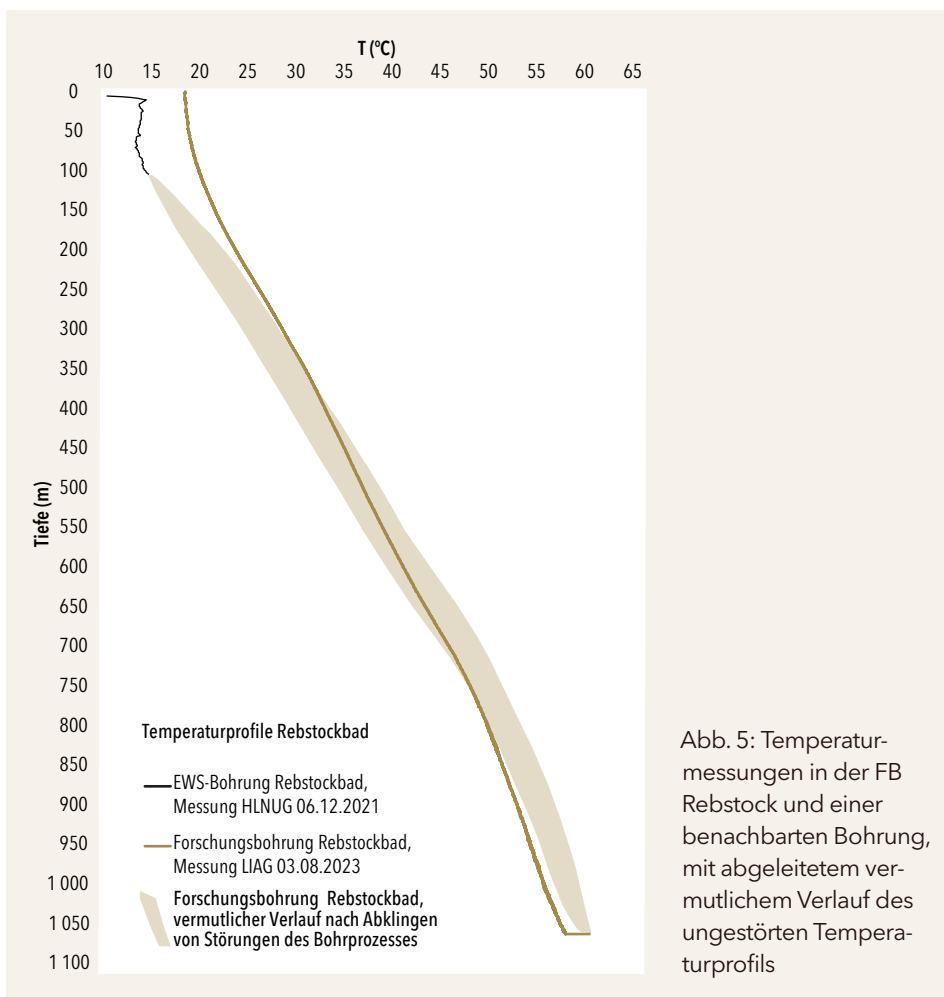
In Verbindung mit den geologischen Daten von Spülproben und Bohrkernen soll eine möglichst umfassende Beschreibung der Gesteinseigenschaften in der Bohrung erfolgen. Zusammen mit der Auswertung der Pumpversuche werden zudem die geothermischen, hydrogeologischen und hydrochemischen Eigenschaften erfasst.

Tab. 1: Bohrlochgeophysikalische Messungen in der FB Rebstock

Messlog	erfasster Tiefenbereich	Anmerkungen
Temperatur	0-1 060 m	
Salinität	0-1 060 m	
Gamma Ray	0-1 060 m	
Televiwer (Acoustic)	897-948 m und 1 008-1 060 m	Abschnitt 948-1 008 m nicht messbar
Spektrales Gamma Ray	1 002-1 060 m	Oberhalb 1 002 m keine Messung möglich aufgrund von Bohrloch-Instabilitäten
Laterolog (Elektrischer Widerstand)	890-932 m	Aufsetzen der Sonde bei 932 m
Dip (Neigung)	890-937 m	Aufsetzen der Sonde bei 937 m
Sonic (P- und S-Welle)	890-932 m und 1 008-1 060 m	Aufsetzen der Sonde bei 932 m, Bereich 932-1 008 m nicht messbar

Ausbau der Bohrung, Pumpversuche und Geothermie

Die Bohrung wurde in sechs Sektionen teleskopiert ausgebaut (Abb. 2). Nachdem zunächst die oberen fünf Sektionen mit zementhinterfüllten Vollrohren ausgestattet waren, blieb der Bereich des Permokarbon offen (Abb. 2). Mit insgesamt vier Pumpversuchen wurde angestrebt, das Bohrloch von der in das Gebirge eingedrungenen Bohrspülung (insgesamt ca. 250 m³) freizuspülen, die hydraulischen Eigenschaften des Gesteins zu testen und Wasserproben zu entnehmen. Hierbei zeigte sich, dass die klüftigen Sandsteine und die Störungsbereiche in diesem Bohrabschnitt zu Bohrlochwandausbrüchen neigen. Dadurch konnten sowohl nicht alle geophysikalischen Bohrlochmessungen bis zur Endteufe durchgeführt als auch keine befriedigenden Ergebnisse bei den Pumpversuchen erzielt werden. Im Oktober 2023 erfolgte die Herstellung eines behelfsmäßigen Brunnenfilters in den bis dahin offenen Bohrlochabschnitt von



900–1060 m, um das Gebirge zu stabilisieren und die Möglichkeit für einen erfolgreichen Pumpversuch mit Wasserprobennahme zu bieten. Hierzu wurde das Bohrgestänge genutzt, das nach Einfahren bis auf 1060 m in den Tiefenbereichen 930–960 m und 1030–1050 m mittels Hohlladungen mit insgesamt 962 geschossenen Löchern versehen und dann ebenfalls mittels Hohlladung bei rd. 870 m Tiefe abgetrennt wurde. Bis Ende Oktober 2023 wurde ein Pumpversuch mit Entnahme von Wasserproben durchgeführt, deren Auswertung noch aussteht.

Am 3. August 2023 wurde vom LIAG eine erste durchgehende Temperatur-Tiefenprofilmessung von der Erdoberfläche bis zur Endteufe bei 1060 m durchgeführt (Abb. 5). Da die Messung zum Schutz der Messsonde bis rd. 1000 m innerhalb des Bohrstrangs durchgeführt wurde und zudem noch kurz zuvor Bohrarbeiten und Pumpversuche liefen, waren die Temperaturen zum Zeitpunkt der Messung noch gestört. Das Ausmaß der Störung lässt sich anhand der Temperaturdaten einer rd. 180 m westlich errichteten Erdwärmesonde sowie der sog. Bottom Hole Temperature (BHT) abschätzen. In der benachbarten Erdwärmesonde,

die in einem vom HLNUG initiierten Projekt zur Erkundung der oberflächennahen geothermischen Situation durchgeführt wurde (HLNUG 2022), ist die Untergrundtemperatur in 100 m Tiefe mit rd. 15 °C mehr als 5 K geringer als in gleicher Tiefe in der FB (Abb. 5). Die BHT, zu deren Messung die Messsonde für rd. 10 Minuten in einer Tiefe von 1 060 m verblieb, stellte sich bei 61 °C ein. Der sich aus diesen Temperaturen ableitende Verlauf des ungestörten Temperaturprofils ist in Abb. 5 mittels Schraffur dargestellt. Der geothermische Gradient zwischen den Tiefenlagen 100 m und 1 060 m beträgt demnach im Mittel 4,8 K/100 m.

Sowohl die Temperatur von 61 °C in 1 060 m wie auch der Gradient von 4,8 K/100 m sind höher als dies für den Standort der FB am Rand der geothermischen Anomalie erwartet wurde.



Fazit

Die Existenz der vom HLNUG postulierten geothermischen Anomalie wurde bestätigt. Das Tertiär am Standort der Forschungsbohrung übertrifft mit rund 900 m die ursprünglich erwarteten rund 500 m Mächtigkeit deutlich. Ebenfalls bemerkenswert ist das mächtige Auftreten der Pechelbronn-Gruppe, die im Frankfurter Raum bislang weitgehend unerforscht ist.

Die erbohrten mächtigen grauen Festgesteine unterhalb 900 m Bohrtiefe, die wahrscheinlich während des frühen Rotliegend abgelagert wurden, unterscheiden sich deutlich von den im Osten Frankfurts an der Oberfläche zutage tretenden roten Sedimenten des Rotliegend. Die erbohrte Abfolge kann dem Ablagerungsraum des Saar-Nahe-Beckens zugeordnet werden und legt dessen Ausdehnung bis in den Frankfurter Raum nahe.

Weiterführende Literatur

Deutsche Stratigraphische Kommission (2011, Hrsg.; Koordination und Redaktion: K.I. GRIMM für die Subkommission Tertiär): Stratigraphie von Deutschland IX. Tertiär, Teil 1: Oberrheingraben und benachbarte Tertiärgebiete. – Schriftenr. Dt. Ges. Geowiss., 75: 464 S.; Hannover.

Deutsche Stratigraphische Kommission (2012, Hrsg.; Koordination und Redaktion: H. LÜTZNER & G. KOWALCZYK für die Subkommission Perm-Trias): Stratigraphie von Deutschland X. – Rotliegend der variscischen Innenbecken. – Schriftenr. Dt. Ges. Geowiss., 61: 882 S.; Hannover.

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2021, Hrsg.): Geologie von Hessen. – 706 S.; Stuttgart (Schweizerbart).

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2022): Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) Geltungsbereich: Frankfurt-Rebstock; Download-Link: www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/geologie/erdwaerme/Steckbrief_ONG_Frankfurt_Rebstock_07-20.pdf

KÜMMERLE, E. & SEIDENSCHWANN, G. (2009, 3. Aufl.): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1 : 25 000, Blatt Nr. 5817 Frankfurt am Main West. – 308 S.; Wiesbaden.

VON REINACH, A. (1894): Resultate einiger Bohrungen, die in den Jahren 1891-93 in der Umgebung von Frankfurt ausgeführt wurden. – Bericht über die Senckenbergische naturforschende Gesellschaft: 17-42; Frankfurt a. M.

RUMOHR, S. (2013): Wärmeanomalie im mitteltiefen Untergrund von Frankfurt am Main – Neue Erkenntnisse und Chancen. – Tagungsband 8. Tiefengeothermieforum, Darmstadt.