

Geologische Neuerkenntnisse durch Erdwärmebohrungen

G1

NICOLA HUG & MICHAELA DERSCH-HANSMANN

Einleitung

Die Nutzung von Erdwärme für die Energieversorgung von Einzelhaushalten erfährt derzeit einen Boom, der auch in der Geologischen Landesaufnahme deutlich spürbar ist: Im Jahr 2007 sind 1078 Bohranzeigen für Erdwärmesonden oder Grundwasserwärmepumpen eingegangen, das sind 489 % mehr als vor fünf Jahren (Abb. 1). Diese große Zahl an Erdwärmebohrungen, die durchschnittlich 100 Meter tief in den Untergrund abgeteuft werden, ermöglicht gerade in bislang wenig erforschten Regionen des Landes genauere Informationen über den Gesteinsuntergrund zu gewinnen. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Bohrproben fachgerecht aufgenommen und stratigraphisch eingestuft werden. Das bedeutet bei Erdwärmebohrungen in der

Praxis, dass die Bohrproben von Geologen des HLUG bearbeitet werden müssen, um für die Geologische Landesaufnahme verwertbare, mit standardisierten Methoden erhobene Daten zu erbringen. Die von den Bohrfirmen eingereichten Schichtenverzeichnisse bzw. Bohrprotokolle genügen dagegen in aller Regel nicht diesen Qualitätsansprüchen.

Die Bohrungsaufnahme wird durch das Dezernat G 1 Geologische Grundlagen im Rahmen der personellen Möglichkeiten vorgenommen. Dass sich dieser Aufwand lohnt, weil dadurch wertvolle Neuinformationen über den Gesteinsuntergrund gewonnen werden, soll im Folgenden an einigen Beispielen verdeutlicht werden.

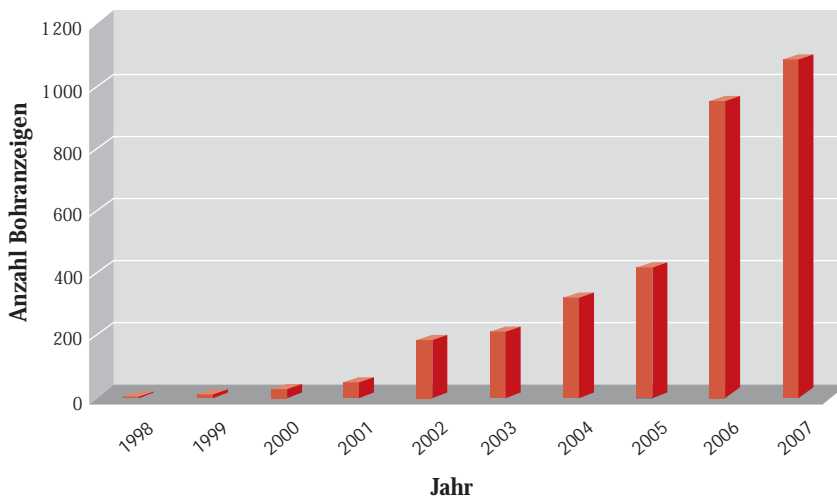


Abb. 1: Beim Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (bzw. bis 2000 Hessischen Landesamt für Bodenforschung) gemäß Lagerstättengesetz angezeigte Bohrungen für Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen (Sondenanlagen mit mehreren Bohrungen nur einfach gezählt).

Von der Bohranzeige zur geologischen Bohrungsaufnahme – Organisation des „Verfolgs von Bohrungen“

Rechtliche Grundlagen

Die Durchführung von Bohrungen ist verschiedenen Gesetzen und Vorschriften unterworfen, die sicherstellen sollen, dass die Arbeiten ordnungsgemäß ausgeführt und dokumentiert werden und dass dabei das Grundwasser nicht gefährdet wird. Der vom HLUG herausgegebene Leitfaden „Erdwärmennutzung in Hessen“ (HLUG 2007) stellt die erforderlichen Genehmigungen und zu beachtenden Vorschriften ausführlich dar, gerade auch die wasserrechtlichen Vorgaben. Im vorliegenden Beitrag sollen deshalb nur die für die Geologische Landesaufnahme wesentlichen gesetzlichen Rahmenbedingungen kurz aufgeführt werden:

- Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) ist als Nachfolgebehörde des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung (HLfB) durch das Lagerstättengesetz¹ mit der geologischen und geophysikalischen Erforschung des Landes Hessen beauftragt (§§ 1 und 2 LagerstG in Verb. m. LagerstGDV² Art. 1 Abs. 1 Punkt 4). Dazu gehört auch der sog. „Verfolg von Bohrungen“, also die Erfassung und Dokumentation der Bohrungen durch das HLUG.
- Alle mit mechanischer Kraft angetriebenen Bohrungen sind gemäß Lagerstättengesetz vom Bohrunternehmen mindestens zwei Wochen vor Beginn der Bohrung dem HLUG anzuzeigen (§ 4 LagerstG und LagerstGDV Art. 3 Abs. 1).
- Während der Bohrarbeiten muss die durchteufte Gesteinsabfolge nach DIN 4021 dokumentiert werden, d. h. es sind Gesteinsproben im Abstand von mindestens einem Meter und bei Wechsel der Gesteinsart zu entnehmen; nach Beendigung der Bohrarbeiten ist ein Schichtenverzeichnis der gesamten Gesteinsabfolge nach DIN 4022 zu erstellen (KANY 1997).
- Bohrproben sind vom Bohrunternehmer aufzubewahren und dürfen nur mit Erlaubnis des HLUG vernichtet werden; auf Anfordern sind sie dem HLUG zur Verfügung zu stellen (§ 5 (2) LagerstG).

- Nach Beendigung der Bohrarbeiten sind die Bohrergebnisse dem HLUG mitzuteilen (§ 5 (2) LagerstG und LagerstGDV Art. 3 Abs. 2).

Bearbeitung eingehender Bohranzeigen

Die eingehenden Bohranzeigen werden im Dezernat G 1 registriert und an die zuständigen Geologen der Geologischen Grundlagen (Dezernat G 1), der Hydrogeologie (Dezernat W 4) und ggf. auch der Rohstoffgeologie (Dezernat G 4) weitergegeben. Angesichts der großen Anzahl an Bohranzeigen muss dann entschieden werden, welche der Erdwärmeh Bohrungen im Rahmen der Geologischen Landesaufnahme im HLUG aufgenommen werden. Ausgewählt werden vorrangig solche Bohrungen,

- die in Gebieten liegen, für die keine oder nur veraltete geologische Karten vorhanden sind;
- die in Gebieten liegen, für die noch keine Informationen über den tieferen Untergrund (Bohrungen) vorliegen;
- die Gegenstand hydrogeologischer oder anderer fachlicher Stellungnahmen oder Gutachten sind.

Bei manchen Bohrungen – abhängig von der zu erwartenden Gesteinsabfolge – ist es sinnvoll, im Bohrloch die natürliche Gammastrahlung der einzelnen Schichten zu messen. Diese Messung kann mit dem Geophysik-Messwagen des Dezernats G 2 durchgeführt werden, sofern das Bohrunternehmen unmittelbar nach Fertigstellung des Bohrlochs und vor Einbau der Erdwärmesonde eine kurze Arbeitsunterbrechung von etwa 30 Minuten für die Bohrlochmessung bewilligt. Dazu stimmt sich das Geophysik-Messteam unmittelbar und kurzfristig terminlich mit dem Bohrunternehmen (Bohreräteführer) ab und richtet sich – soweit möglich – sehr flexibel nach den Zeitvorgaben des Bohrunternehmens. Ergebnis der Messung ist ein sog. Gammastrahlungs-Log, das Aufschluss über die Gehalte des

¹ „Gesetz über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten (Lagerstättengesetz)“ (LagerstG) in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 750-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, zuletzt geändert durch Artikel 22 des Gesetzes vom 10. November 2001 (BGBl. I S. 2992).

² „Verordnung zur Ausführung des Gesetzes über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten“ (LagerstGDV), BGBl. III 750-1-1.

Gesteins an den Gammastrahlung emittierenden Elementen Kalium, Thorium und Uran gibt und damit indirekt Rückschlüsse auf die Gesteinsart erlaubt (vgl. Abb. 4).

Geologische Aufnahme von Erdwärmebohrungen

Soll eine Erdwärmebohrung im Rahmen der Geologischen Landesaufnahme bearbeitet werden, geschieht dies aus Gründen der Zeitökonomie in aller Regel im HLOG und nicht an der Bohrstelle. Mit vielen der in Hessen tätigen Bohrunternehmen hat das HLOG deshalb vereinbart, dass die Bohrproben nicht beim Auftraggeber, sondern beim Bohrunternehmen gelagert und von dort nach Ansammlung einer ausreichenden Probenanzahl turnusmäßig abgeholt werden. Die Abholung der Bohrproben von den einzelnen Auftraggebern bzw. Hausbesitzern ist demgegenüber sehr zeit- und kostenintensiv und wird daher nur in Ausnahmefällen, bei fachlich besonders wichtigen Bohrungen, realisiert.

Die Bohrproben einer Erdwärmebohrung bestehen aus jeweils einer Handvoll Lockermaterial (Sand, Lehm, Ton etc.) oder zermeißeltem Festgestein (sog. „Cuttings“ aus Sandstein, Tonstein, Granit, Basalt etc.), die aus verschiedenen Teufen des Bohrlochs entnommen wurden. Die hierfür gültige DIN 4021 schreibt die Entnahme von Bohrproben „bei jedem Wechsel der Bodenschichten (Wechsel in Zusammensetzung, Zustand oder Farbe), mindestens aber für jeden Meter“ vor – in der Praxis wird jedoch häufig nur alle zwei bis drei Meter eine Probe genommen. Je nach durchbohrtem Gestein, aber auch abhängig von der Bohrtechnik, können diese Bohrproben sehr unterschiedlich beschaffen sein (Abb. 2 a–e). Vor der geologischen Aufnahme werden die Proben einer Bohrung nach der Entnahmetiefe sortiert. Bei Bohrproben mit sehr hohem Anteil an feinkörniger Grundmasse („Bohrschlamm“) kann es notwendig sein, den Bohrschlamm von den gröberen Cuttings mit Wasser und einem Sieb abzutrennen, d. h. die Proben zu „schlämmen“ (Abb. 2 f).

Geologinnen und Geologen des Dezernats G 1 nehmen die Proben der Erdwärmebohrungen dann geolo-

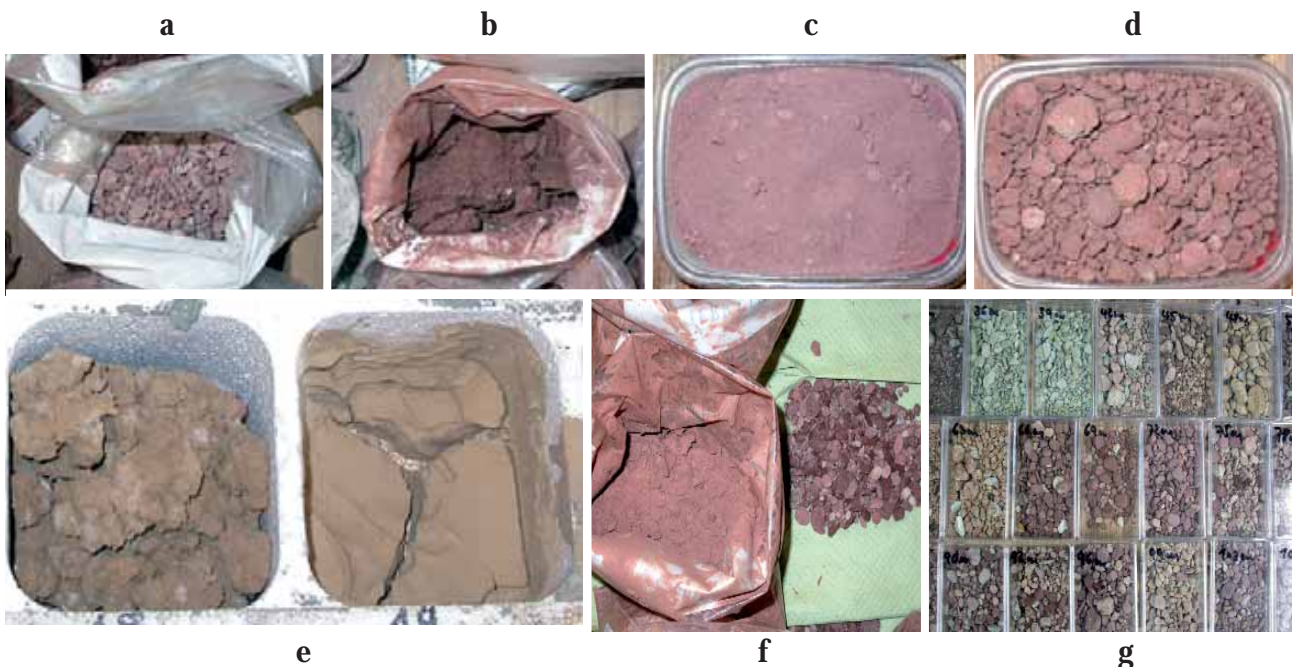


Abb. 2: Beispiele für Bohrproben von Erdwärmebohrungen; nicht aufbereitete Bohrproben: **a)** feste Gesteins-Cuttings, **b)** Probe mit hohem Anteil an entfestigtem Ton-/Schluffstein bzw. an Bohrschlamm, feste Cuttings sind darin versteckt, vgl. f); **c)** überwiegend zu Sand zerbohrter oder zerfallener Sandstein; **d)** in feste Cuttings zermeißelter Sandstein; **e)** Lehm in Fächerkisten (ausgetrocknet); im HLOG aufbereitete Bohrproben: **f)** mit Sieb und Wasser geschlämmt, vorher stark von Feinkorn verschmierte feste Cuttings aus Ton-, Schluff- und Sandstein; **g)** für die petrographische Sammlung des HLOG vorbereitete, vollständig geschlämzte Bohrproben.

gisch auf: Sie beschreiben die Gesteinsart und -beschaffenheit der Bohrproben unter Zuhilfenahme von Lupe, Farbtafel und Salzsäure und schließen daraus auf das durchbohrte Gestein und dessen Alter („stratigraphische Einstufung“). Die Qualität der geologischen Bohrungsaufnahme hängt von der investierten Arbeitszeit ab, aber auch sehr stark von der Qualität der Bohrprobe und damit von der Bohrtechnik (siehe oben). Deshalb muss der Geologe möglichst das verwendete Bohrverfahren kennen sowie technische Beeinflussungen des Bohrvorgangs und der Probenahme berücksichtigen (z. B. Spülungsart Luft oder Wasser, Nachfall von Gesteinsmaterial im Bohrloch, Kontamination mit Wegschotter bei der Probenabfüllung, Aufbohren von temporären Zementationsbereichen, fortwährende Ausspülung unverfestigter Gesteinspartien, ungleichmäßige Zerkleinerung weicher und harter Gesteinsschichten u. v. m.). Sinn und Zweck einer möglichst genauen geologischen Aufnahme und stratigraphischen Einstufung eines Bohrprofils ist es, die Struktur und Beschaffenheit des Gesteinsuntergrundes auch für die nähere Umgebung des Bohrpunktes einzuschätzen sowie außerdem prognostizieren zu können, welche Gesteinsschichten in noch größerer Tiefe zu erwarten sind.

Die Bohrungsaufnahme wird vom bearbeitenden Geologen in die Bohrdatenbank des HLUG eingegeben. Dies erfolgt nach hessischem Erfassungsstandard, d. h. unter Verwendung einer einheitlichen, genau definierten Nomenklatur. Als Erfassungs- und Auswertesoftware wird seit 2003 das System GeoDin der Firma Fugro Consult GmbH verwendet, das inzwischen auch in den meisten anderen Bundesländern in ähnlicher Form eingesetzt wird. Die Bohr-

datenbank ist Teil des im Aufbau befindlichen digitalen Fachinformationssystems Geologie (FISGE), das den zentralen Basisdatenbestand zum geologischen Untergrund für die angewandten geowissenschaftlichen Fachbereiche, die Landesregierung, die Landesverwaltung, die angrenzenden Länder, den Bund, die Universitäten, die im Land geologisch tätigen Unternehmen und den Bürger digital verfügbar machen soll (HOSELMANN et al. 2005 und www.hlug.de/medien/geologie/geologie/fis/index.html).

Das Endprodukt der Bohrungsaufnahme ist ein geologisches Schichtenverzeichnis, in dem alle durchteuften Gesteinsschichten genau beschrieben und stratigraphisch eingestuft sind. Die Abfolge lässt sich graphisch anschaulich in einem Bohrprofil darstellen, ggf. zusammen mit geophysikalischen Messkurven (z. B. Gammastrahlungs-Log; vgl. Abb. 4). Die fertig ausgewerteten geologischen Schichtenverzeichnisse werden im HLUG-Bohrarchiv abgelegt und stehen den Mitarbeitern des HLUG zur Verfügung, aber auch externen Benutzern – unter Berücksichtigung der Vorgaben des Datenschutzes.

Geologisch besonders wertvolle Bohrungen, beispielsweise solche mit vollständig durchteuften geologischen Einheiten charakteristischer Ausbildung oder mit bislang unbekanntem Gesteinsabfolgen, werden in die petrographische Sammlung des HLUG aufgenommen. Dazu werden alle Bohrproben geschlämmt und in Klarsichtbehälter verpackt (Abb. 2g). Sie stehen dann für eine weitergehende spätere Bearbeitung, zum Beispiel bei der Neukartierung der Geologischen Karte 1:25 000 oder für angewandte Fragestellungen, zur Verfügung.

Geologische Neuerkenntnisse aus Erdwärmebohrungen – zwei Praxisbeispiele

Beispiel 1: Nachweis besonders hoher Quartärmächtigkeiten im Kinzigtal

Im Kinzigtal treten die Terrassensedimente der Kinzig in zum Teil besonders großer Mächtigkeit von bis zu 60 Metern auf (DIEDERICH & EHRENBERG 1977, SEIDENSCHWANN 1980). Wie mächtig diese Terrassense-

dimente jedoch im einzelnen sind, variiert je nach Position im Talverlauf und ist noch nicht überall bekannt. Jede Bohrung, die tief genug ist, die Quartärbasis zu erreichen, stellt deshalb einen wertvollen Informationsgewinn dar. Im Bohrgut lassen sich die quartären bis jungtertiären Terrassensedimente in

der Regel gut vom unterlagernden Festgestein unterscheiden. Noch deutlicher wird diese Grenze im Gammastrahlungs-Log, das in diesem Fall die stratigraphische Einstufung des Bohrguts sehr gut absichern kann (Abb. 3 und 4). Deshalb ist das HLOG bestrebt, bei Erdwärmebohrungen in diesem Raum ein Gammastrahlungs-Log zu messen, sofern dies logistisch möglich ist.

Beispiel 2: Neuerkenntnisse zur Buntsandstein-Stratigraphie und Grabentektonik im Raum Fulda

Im Raum Fulda wurden bereits seit 1999 zahlreiche Erdwärmebohrungen durch das HLOG geologisch aufgenommen, so dass mittlerweile das Netz geologischer Untergrundinformationen in diesem Bereich deutlich verdichtet werden konnte. Das ist umso wichtiger, als für den Raum Fulda, der sich zunehmend zum Ballungsraum entwickelt, bislang nur sehr alte Geologische Karten im Maßstab 1:25 000 (GK 25) von Anfang des 20. Jahrhunderts vorliegen, mit teilweise nur ungenauen Angaben zum Gesteinsuntergrund. Eine Neukartierung durch das HLOG ist mittelfristig vorgesehen, und hierbei werden die neu aufgenommenen Erdwärmebohrungen und die da-

bei gewonnenen Erkenntnisse über die Gesteinsabfolge eine wichtige Datengrundlage darstellen.

Durch die Vielzahl der meist 99–140 Meter tiefen Erdwärmebohrungen im Raum Fulda konnten inzwischen genauere Kenntnisse über die Mächtigkeiten und die Gesteinsbeschaffenheit der geologischen Einheiten des Buntsandsteins gewonnen werden, obwohl die Art der Probennahme bei diesen Bohrungen (Meißelproben in Abständen von 3 Metern) nicht optimal ist. In Bereichen mit mächtigen quartären Ablagerungen (Fließerden, Flussablagerungen etc.) können tektonische Verwerfungen, die auch im Raum Fulda die präquartären Gesteine durchziehen und zum Absinken langgezogener Schollen geführt haben (Fuldaer Graben, Großenlüderer Graben), nur mit Hilfe der Bohrungen nachgewiesen werden (Abb. 5). Bezüglich der Mächtigkeiten geologischer Einheiten ist in solchen tektonisch stark beanspruchten Bereichen zu beachten, dass die Lagerung der Schichten zum Teil sehr steil ist und dass dann die erbohrten („scheinbaren“) Mächtigkeiten lagerungsbedingt stark erhöht sind (Abb. 6). Umgekehrt lassen scheinbar übermäßig mächtige Einheiten in einer Bohrung den Rückschluss auf eine stark verkippte Schichtlagerung zu (z. B. bei den Bohrungen 2004/146 und 2005/124 in Abb. 5 b).

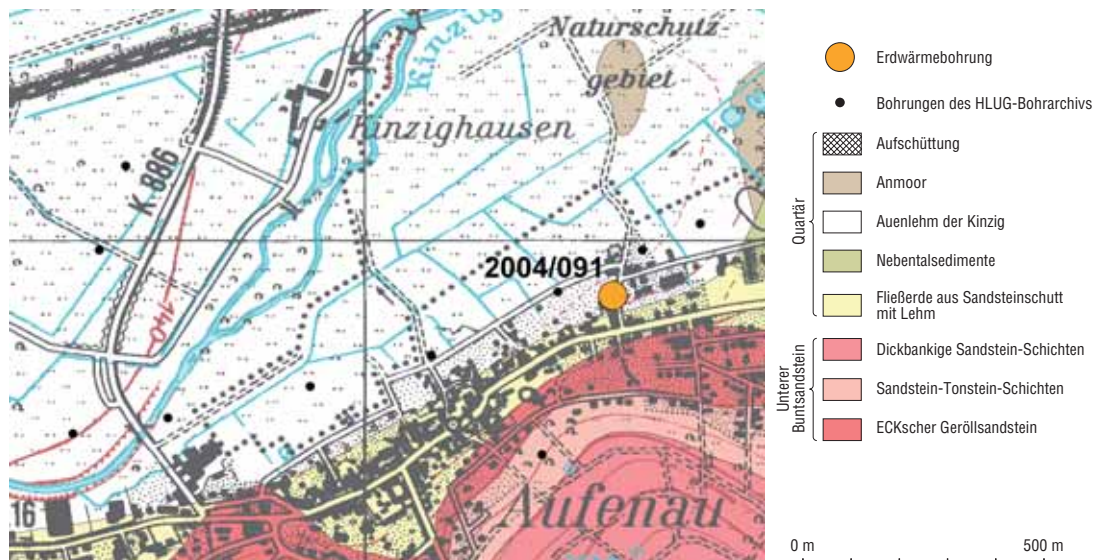


Abb. 3: Ausschnitt aus der digitalen Geologischen Karte im Maßstab 1:25 000 (GK 25), Blatt 5721 Gelnhausen: Bislang waren nur flache Baugrundbohrungen am Talrand vorhanden. Die Erdwärmebohrung 2004/091 ergab mit 32 Metern eine erstaunlich große Mächtigkeit der quartären Terrassensedimente der Kinzig (Abb. 4); erst unterhalb von 110 Metern über NN wurde Buntsandstein erbohrt, der im südlichen Ortsgebiet von Aufenau an der Oberfläche, bei 150 m ü. NN und höher, aufgeschlossen ist (rote Farben in der GK 25).

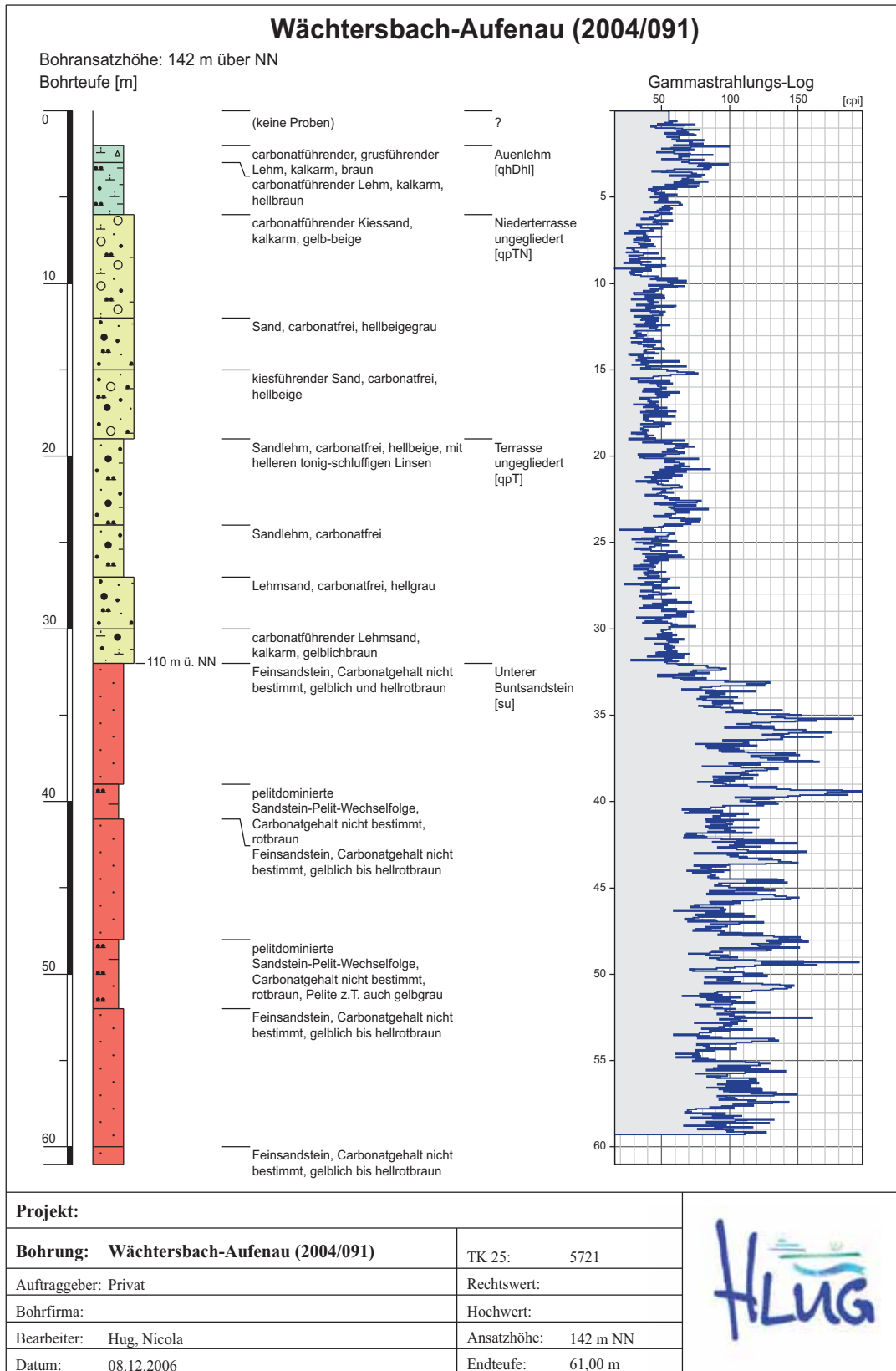


Abb. 4: Bohrprofil und Gammastrahlungs-Log der Erdwärmebohrung Wächtersbach-Aufenau (HLUG-Nr. 2004/091): Angesichts der Bohrlokation am Kinzigtalrand (Abb. 3) ist die große Mächtigkeit der quartären Flussablagerungen bemerkenswert. Umliegende Bohrungen des HLU-Bohrarchivs hatten die quartären Schichten bislang nicht durchteuft.

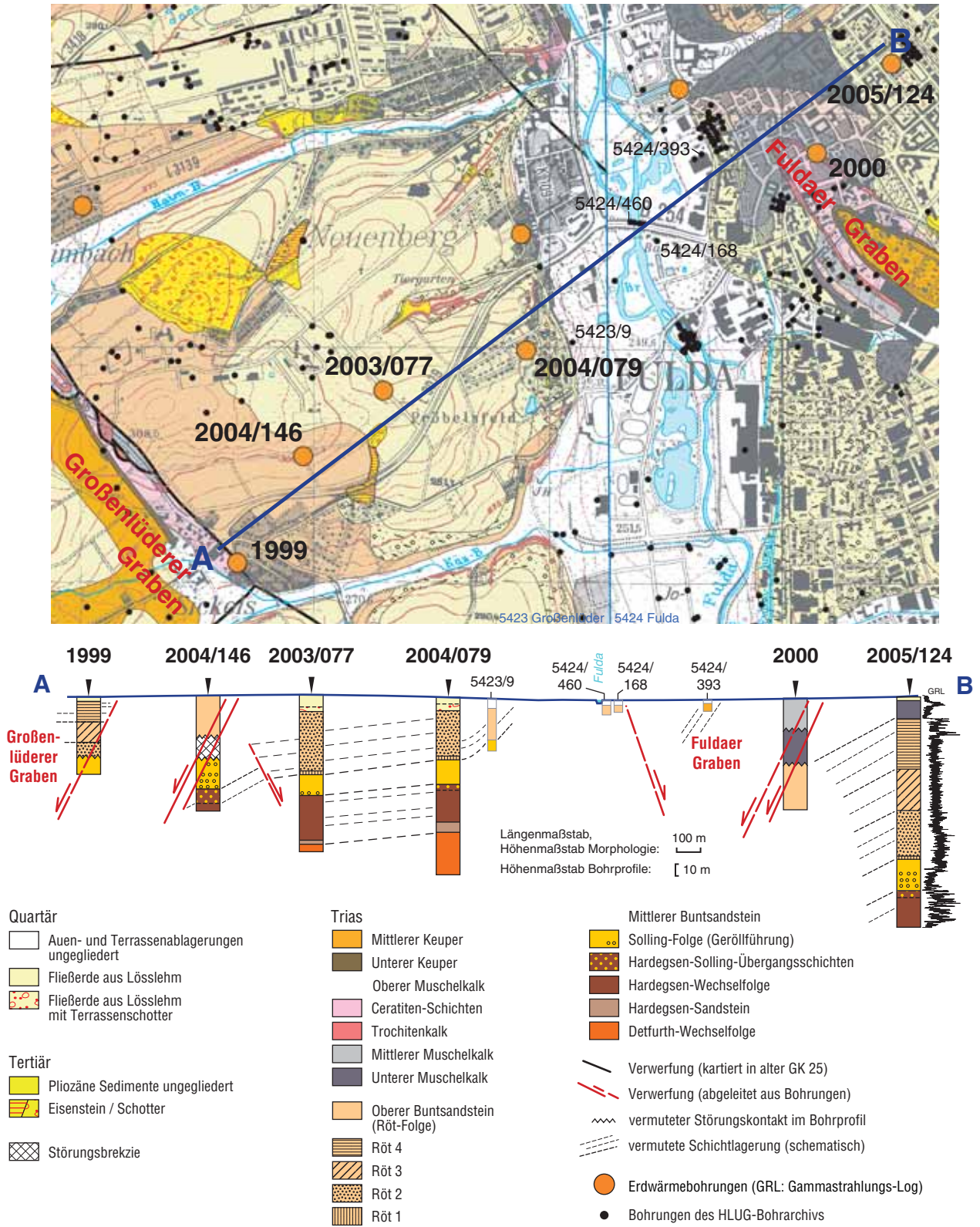


Abb. 5: Erdwärmebohrungen am westlichen Stadtrand von Fulda haben seit 1999 die Kenntnisse über den tieferen geologischen Untergrund erweitert.
 oben: Lage der Erdwärmebohrungen und der bereits im HLU-Bohrarchiv vorhandenen Bohrungen, mit Geologie gemäß der alten Geologischen Karten 1:25000, Blätter 5423 Großenlüder (1934) und 5424 Fulda (1912).
 unten: Profilschnitt mit neuen Erdwärmebohrungen, ergänzenden Bohrungen des HLU-Bohrarchivs sowie daraus abgeleiteten tektonischen Verwerfungen und der anzunehmenden Schichtlagerung (schematisch).



Abb. 6: Mit etwa 30 ° nach Nordosten einfallende Schichten des Oberen Buntsandsteins am Rand des Großenlüderer Grabens bei Fulda-Sickels (Bau der Westumgehung Fulda, August 2007; Aufschlusswand NNW–SSE orientiert). Eine Bohrung in solchen verkippeten Schichten ergibt stark erhöhte, sog. scheinbare Mächtigkeiten.

Wem nützen geologische Neuerkenntnisse aus Erdwärmepumpenbohrungen?

Grundsätzlich nützen diese geologischen Neuerkenntnisse aus Erdwärmepumpenbohrungen allen, die Fragestellungen zum Gesteinsuntergrund bearbeiten und auf vorhandene, sofort abrufbare Informationen angewiesen sind – einerseits den Kolleginnen und Kollegen der Hydrogeologie, Ingenieurgeologie, des Bodenschutzes und der Altlastenuntersuchung im HLUg, andererseits auch externen Nutzern, beispielsweise Behörden auf Landes-, Regional- und Kommunalebene sowie Ingenieur- und Planungsbüros. Fragen zum geologischen Untergrund werden besonders häufig im Zusammenhang mit der Erkundung und Erschließung von Grundwasser gestellt, bei der Überwachung von potenziell grundwassergefährdenden Schadensfällen, bei der Planung von Brücken- und Tunnelbauwerken oder größeren Gebäuden.

Aber auch bei der Bemessung neuer Erdwärmepumpenanlagen können – und sollten – die am HLUg vorhandenen geologischen Informationen hinzugezogen werden, um die Anlage optimal dem gegebenen Gesteinsuntergrund anzupassen: Die Leistung

einer erdgekoppelten Wärmepumpe hängt unter anderem wesentlich von der Wärmeleitfähigkeit sowie der Grundwassersättigung und -durchlässigkeit des durchteuften Gesteins ab; Anzahl und Tiefe der zu errichtenden Erdwärmesonden müssen möglichst genau darauf abgestimmt werden, um die Anlage leistungsfähig und gleichzeitig wirtschaftlich rentabel zu machen (siehe Leitfaden „Erdwärmennutzung in Hessen“, HLUg 2007). Die Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen schwankt ungefähr zwischen $< 1,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ und $> 4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, die davon ableitbare spezifische Entzugsleistung zwischen etwa 20 W/m und 100 W/m (REUB & SANNER 2001). Der Ansatz einer „durchschnittlichen Wärmeleitfähigkeit“ bzw. „durchschnittlichen spezifischen Entzugsleistung“ des Gesteinsuntergrundes bei der Bemessung einer Erdwärmesondenanlage kann daher nur im Ausnahmefall optimale Leistung ergeben, denn nur im Ausnahmefall wird tatsächlich „das Durchschnittsgestein“ angetroffen. Deshalb wird insbesondere bei größeren Wärmepumpenanlagen ($> 30 \text{ kW}$) die Bestimmung der thermischen Untergrundparameter mittels Messungen am ersten Bohrloch einer

Anlage empfohlen (REUB & SANNER 2001). In der Praxis wird die Sondenanlage meist jedoch nicht erst nach Abteufen der ersten Bohrung endgültig bemessen, sondern bereits zu Beginn der Planung. Umso wichtiger ist dann aus geologischer Sicht, bereits bei der Planung der Sondenanlage die vorhandenen Informationen über den Gesteinsuntergrund einzuholen und entsprechend zu berücksichtigen. Wesentliche Informationsquellen sind dabei die amtlichen Geologischen Karten im Maßstab 1:25 000 (GK 25) mit Erläuterungen sowie die im HLOG-Bohrarchiv verfügbaren Schichtenverzeichnisse.

Im HLOG-Bohrarchiv sind Schichtenverzeichnisse von Erdwärmebohrungen ein „Novum“. Die Hälfte der bislang in ca. 150 Jahren archivierten rund 92 000 Schichtenverzeichnisse stammt von Baugrundbohrungen, die allerdings durchschnittlich nur 10 m tief sind. Daneben sind vor allem Wasserbohrungen (Grundwasser-Erkundungsbohrungen,

Grundwasser-Messstellen, Brunnen) und Lagerstätten-Erkundungsbohrungen mit jeweils knapp 20 % archiviert, die mit durchschnittlich 45 resp. 75 Metern auch deutlich tiefer in den Untergrund reichen als die Baugrundbohrungen (Abb. 7). Die wachsende Anzahl der geologischen Schichtenverzeichnisse der durchschnittlich 100 Meter tiefen Erdwärmebohrungen stellt insofern – falls die Aufnahmequalität ausreichend gut ist – einen beachtlichen Zugewinn an Detailkenntnis über den tieferen Gesteinsuntergrund Hessens dar. Darüber hinaus haben Erdwärmebohrungen den Vorteil, dass sie schwerpunktmäßig in Neubaugebieten in Ortsrandlagen niedergebracht werden, für die Informationen über den geologischen Untergrund auch in Zukunft besonders von Interesse sein werden. In diesen Gebieten gibt es meistens noch keine Brunnenbohrungen oder sonstige tiefere Bohrungen, so dass die Erdwärmebohrungen die ersten Informationen über den tieferen Gesteinsuntergrund liefern.

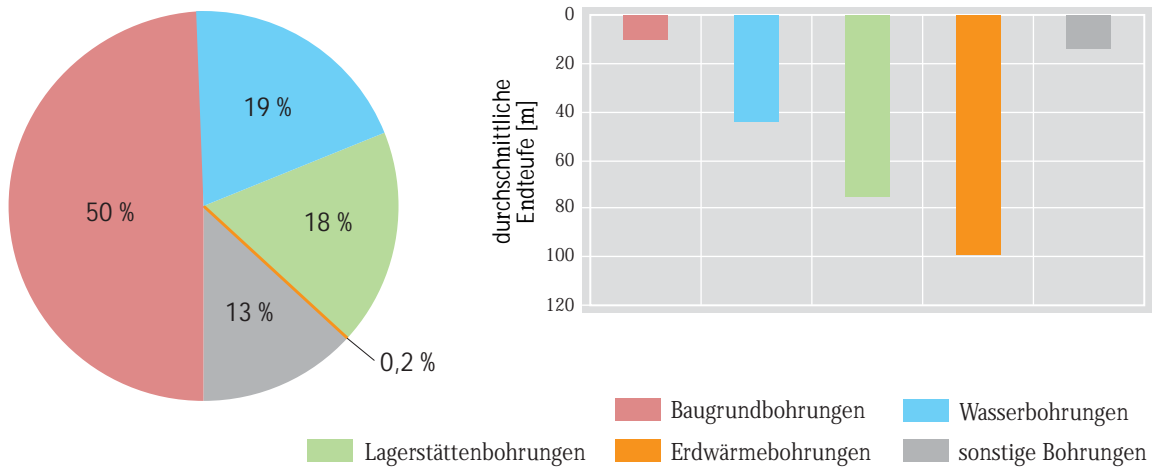


Abb. 7: Bestand des HLOG-Bohrarchivs bzw. der HLOG-Bohrdatenbank, klassifiziert nach Bohrart: Häufigkeit (links) und durchschnittliche Endteufe (rechts). Erdwärmebohrungen gehören zu den im Durchschnitt tiefsten Bohrungen des Archivbestands; ihr Anteil ist derzeit noch gering, steigt jedoch seit 1999 stark an (vgl. Abb. 1).

Literatur

- DIEDERICH, G. & EHRENBERG, K.-H. (1977): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Blatt 5721 Gelnhausen. – 256 S., 35 Abb., 14 Tab., 1 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG, Hrsg.) (2007): Erdwärmenutzung in Hessen. Leitfaden für Erdwärmepumpen (Erdwärmesonden) mit einer Heizleistung bis 30 kW. – 3., überarb. Aufl., 32 S.; Wiesbaden.
- HOSELMANN, C., HEGGEMANN, H. & STÄRK, A. (2005): Projektplan Fachinformationssystem Geologie, Version 3 vom 15.02.2005. – 25 S., Wiesbaden (Hess. L.-Amt Umwelt u. Geologie, unveröffentlicht).
- KANY, M. (1997): Baugrundaufschlüsse – Kommentar zu DIN 4021 bis 4023 und DIN 18196. – Beuth Kommentar: 320 S. (Berlin).
- REUB, M. & SANNER, B. (2001): Planung und Auslegung von Erdwärmesondenanlagen: Basis einer nachhaltigen Erdwärmenutzung, VDI-Richtlinie 4640 und Berechnungsverfahren. – <http://www.ubeg.de/Downloads/downloads.html> (Zugang 20.11.2007).
- SEIDENSCHWANN, G. (1980): Zur pleistozänen Entwicklung des Main-Kinzig-Kahl-Gebietes. – 198 S.; Frankfurt/Main (Waldemar Kramer).
- Gesetz über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten (Lagerstättengesetz) vom 4. Dezember 1934. – RGBl. I S. 1223, verk. am 10.12.1934; BGBl. III 750-1, geändert durch das Einführungsgesetz zum Strafgesetzbuch vom 2. März 1974, BGBl. I S. 591.
- Verordnung zur Ausführung des Gesetzes über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten (Lagerstättengesetz) vom 14. Dezember 1934. – RGBl. I S. 1261, verk. am 22.12.1934; BGBl. III 750-1-1.