

Nutzung von Erdwärme in Baden-Württemberg

Prof. Dr. Ralph Watzel, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Abteilungspräsident, Regierungspräsidium Freiburg, Freiburg/Breisgau, Deutschland



In Baden-Württemberg wurden bisher über 24.000 EWS-Bohrungen mit einer durchschnittlichen Tiefe von 95 m durchgeführt. Für den sicheren Bau und langfristig nachhaltigen Betrieb von Erdwärmesonden (EWS) sind neben geothermischen und geohydraulischen auch geotechnische Sachverhalte von Bedeutung. Bekannte Schadensfälle, die bei EWS-Bohrungen aufgetreten sind, stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit geotechnischen Gegebenheiten des Untergrunds. Ziel der Fachbehörde ist es, auf mögliche Risiken hinzuweisen und damit einen Beitrag zum Schutz von Umweltmedien sowie Belangen Dritter zu leisten. Aus den vorliegenden Erfahrungen lassen sich Anforderungen und Hinweise für ein noch stärker sicherheitsgerichtetes Vorgehen ableiten.

Using geothermal energy in Baden-Württemberg: At present more than 24.000 drillings for earth-coupled heat exchanger systems exist in Baden-Württemberg. The average drilling depth is 95 m. The suitable assessment of the geothermal, geohydraulic and geotechnical situation at the drilling site is a key issue for the safe construction and sustainable operation of these systems. Widely known cases of damage coming from drillings for heat exchangers are directly related to geotechnical conditions at the drilling sites. The geological survey gives information about natural hazards and recommends drilling limitations for drilling sites in order to protect environment and properties. Further requirements for safe drilling and operation of earthcoupled heat exchanger systems can be derived from present experiences.

Bei der Erdwärmennutzung in Baden-Württemberg liegt der Schwerpunkt bisher bei den erdgekoppelten Wärmepumpen oder Erdwärmesonden. Bis Ende 2011 wurden dem Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) rund 24.000 EWS-Bohrungen bekannt gegeben. Die Bohrtiefen dieser EWS-Bohrungen liegen zwischen etwa 30 und 170 m, mit einem eindeutigen Schwerpunkt zwischen 90 und 100 m. Der Mittelwert liegt bei 95 m Bohrtiefe (Bild 1).

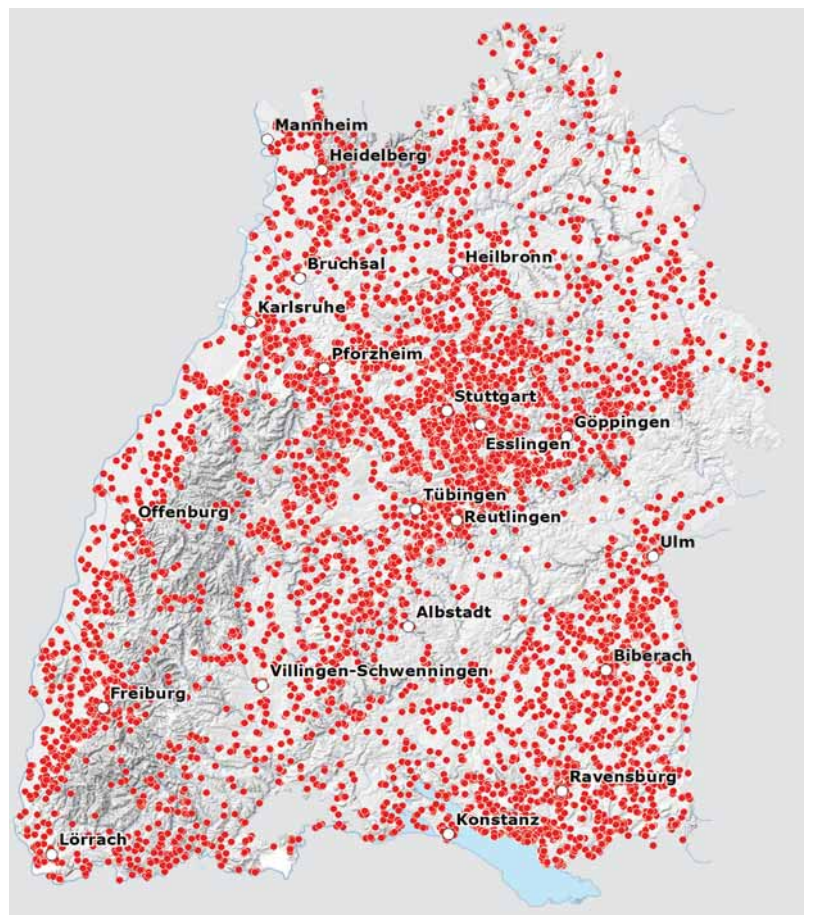
Das LGRB als Staatlicher Geologischer Dienst führt die geowissenschaftliche Landesaufnahme durch. Es stellt qualitätsgesicherte, überwiegend raumbezogene Geofachinformationen für die meisten Untergrundnutzungen in Form moderner digitaler Informationssysteme zur Verfügung. Dabei werden geowissenschaftliche Sachverhalte (Raummodelle, Schichtlagerungskarten, physikalische und chemische Gesteinseigenschaften, Eigenschaften von Fluiden und Zirkulationssystemen, Gasführung) dargestellt und hinsichtlich möglicher Eingriffe und Nutzungen bewertet. Unter ingenieurgeologisch-geotechnischen Gesichtspunkten ist es Aufgabe:

- ➔ Baugrundgefahren im landesweiten Kontext zu erkennen und zu kartieren,
- ➔ auf mögliche Risiken hinzuweisen und
- ➔ Maßnahmen, die in den Untergrund eingreifen, zu bewerten.

Das Handeln der Behörden folgt den Zielen, Bauherren über Gefahren zu informieren sowie zur Sicherung der (Umwelt-) Schutzgüter und zum Schutz der Belange Dritter beizutragen. Das LGRB als geowissenschaftliche Fachbehörde gibt den Genehmigungsbehörden fachlich begründete Auflageempfehlungen für die erforderlichen Verwaltungsakte. Diese Auflageempfehlungen werden auf der Grundlage der geologischen Verhältnisse, der allgemeinen Fachkunde und den vorliegenden Erfahrungen mit EWS-Bohrungen gefasst.

Die bekannten ingenieurgeologischen Gefahren in Baden-Württemberg wurden zuletzt von [4] zusammenfassend beschrieben. Im Rahmen der Integrierten Geowissenschaftlichen Landesaufnahme

Bild 1. Übersicht der Erdwärmesonden in Baden-Württemberg (dem LGRB gemeldet, Stand: 31.12.2011).



Watzel:**Nutzung von Erdwärme in Baden-Württemberg**

me erstellt das LGRB derzeit landesweit digitale, ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarten im Maßstab 1:50.000. Die ersten Themen werden im Verlauf des Jahres 2012 in den Produktvertrieb eingestellt.

Für die oberflächennahe Nutzung von Erdwärme mithilfe von Erdwärmesonden sind diese Sachverhaltsdarstellungen und Bewertungen für Baden-Württemberg im internetbasierten Informationssystem Oberflächennahe Geothermie (ISONG) verfügbar [2]. Diesem Informationssystem liegt ein dreidimensionales Untergrundmodell bis 400 m Tiefe zu Grunde. Auf der Grundlage der bekannten Sachverhalte und deren vorliegender Bewertungen berät das LGRB als Fachbehörde die verfahrensführenden Wasserbehörden auch im Wege der standort- oder vorhabenbezogenen Stellungnahme.

Geogefahren beim Erdwärmesondenbau

Für den sicheren Bau und langfristig nachhaltigen Betrieb von Erdwärmesonden sind neben geothermischen und geohydraulischen Sachverhalte auch geotechnische von Bedeutung. Bekannte Schadensfälle, die bei EWS-Bohrungen in Baden-Württemberg aufgetreten sind, stehen im unmittelbaren Zusammenhang mit geotechnischen Gegebenheiten des Untergrunds. Von daher ist es Aufgabe und Ziel der Fachbehörde, auf mögliche Gefahren hinzuweisen und damit einen Beitrag zum Schutz von Umweltmedien sowie Belangen Dritter zu leisten.

Zu den maßgeblichen geotechnischen Risiken in Baden-Württemberg zählen:

- ➔ Verkarstung, Subrosion und Erdfallgefahr (Karbonat- und Sulfatkarst),
- ➔ Setzungen infolge von Druckentlastung beziehungsweise durch Entwässerung,
- ➔ Hebungen durch Quell- und Schwellprozesse (anhydritführendes Gebirge sowie quellfähige Tongesteinsvorkommen)
- ➔ und betonangreifendes Grundwasser.

Verkarstungsfähige Gesteine kommen oberflächennah beziehungsweise in Tiefen, die mit EWS-Bohrungen erreichbar sind, auf rund 40 % der Landesfläche vor. Sulfatführende Gesteine kommen oberflächennah beziehungsweise in Tiefen, die mit EWS-Bohrungen erreichbar sind, auf etwa 30 % der Landesfläche vor, wobei es gebietsweise zu Überlagerungen dieser Flächenanteile kommt.

Die prominentesten Schadensfälle (unter anderem [1]) gehen auf Bohrungen zurück, die alle in derselben stratigraphischen Position angesiedelt sind. Sie reichen vom unteren Mittelkeuper (Grabfeld-Formation kmGr) bis in den Unterkeuper (Erfurt-Formation kuE) beziehungsweise Oberen Muschelkalk (Meissner- und Trochitenkalk-Formation moM, moTK). Unterkeuper und Oberer Muschelkalk sind zwei Grundwasserleiter, die in weiten Bereichen hydraulisch miteinander verbunden sind. Die Basisschichten des unteren Mittelkeupers (kmGr) bilden Grundwassergeringleiter, die in der Regel für

gespannte bis artesisch gespannte Grundwasserhältnisse im liegenden Aquifer sorgen. Darüber ist der untere Mittelkeuper anhydritführend oder besteht im oberflächennahen Auslaugungsbereich aus Residualtonen, die bei Entwässerung setzungsempfindlich sind. Bei diesen geologischen Gegebenheiten stellen vertikale Wasserwegsamkeiten durch nicht hinreichende Ringraumabdichtungen ein besonderes Gefährdungspotenzial dar.

Aufgrund der geologischen Gegebenheiten treten in weiten Teilen des Landes gespannte bis artesisch gespannte Grundwasserhältnisse auch oberflächennah auf. Die geotechnischen Risiken durch die Entwässerung von organischen Böden und rutschgefährdete Gebiete kommen weniger häufig vor. Untergeordnet können Gasaustritte während der Bohr- und Ausbauarbeiten sowie nach dem Sondeneinbau auftreten.

In Baden-Württemberg sind Erdwärmesondenbohrungen nach Auffassung der Fachbehörde derzeit mit Erreichen des so genannten Gipspegels (erstes Auftreten von Gips) einzustellen. Diese Tiefenbeschränkung hat unter anderem ihren Hintergrund im Schadensfall in der Stadt Staufen. Bei stockwerksübergreifenden Bohrungen kommt einer zuverlässigen hydraulischen Abdichtung der Ringräume höchste Bedeutung zu. Alle bisher dem LGRB bekannt gewordenen Schadensfälle im Zusammenhang mit Erdwärmesonden sind auf misslungene Abdichtungen der Ringräume von Erdwärmesondenbohrungen und dadurch hervorgerufene vertikale hydraulische Kurzschlüsse zurückzuführen. Die Sulfatpegelbegrenzung dient neben dem Grundwasserschutz dem Schutz des Bauherrn und der Belange Dritter. Sie ist eine zuverlässige Vorbeugungsmaßnahme zur Vermeidung vergleichbarer Schäden, die aus einer misslungenen Ringraumabdichtung resultieren können. Die Gipspegelbeschränkung beruht auch auf der Frage nach der Langzeitsicherheit der zur Abdichtung eingebrachten Verfüllmedien. Hier bleibt aus Sicht des LGRB die Antwort der Bauchemie abzuwarten, wie die Langzeitfunktion der Abdichtungsmaterialien zuverlässig beurteilt werden kann. Diese Position weist über den gegenwärtigen anerkannten Stand der Technik hinaus in den Vorsorgebereich.

Bisherige Erfahrungen mit Schadensfällen

Als Schadensursachen und häufig auftretende Mängel sind bisher die nachfolgend beschriebenen Punkte aufgetreten.

- ➔ Das üblicherweise genutzte Imlochhammer-Bohrverfahren mit Luftspülung bringt hohe Drücke in das Bohrloch ein. Diese können zur Gebirgsauflockerung und zu sekundären Wasserwegsamkeiten im Nahbereich des Bohrlochs führen. Außerdem ist das Verfahren anfällig für signifikante Abweichung der Bohrspur von der Lotrechten.
- ➔ Erdwärmesondenbohrungen werden üblicherweise nicht teleskopiert. Durchteuft die Bohrung dabei Grenzen von hydrogeologisch und/oder

ingenieurgeologisch unterschiedlichen geologischen Körpern, kommt der Ringraumabdichtung eine ganz besondere Bedeutung zu. An eine langzeitsichere Ringraumabdichtung sind hohe Anforderungen zu stellen. Die Zementation muss dauerhaft gegenüber Frost-Tau-Wechseln und zementangreifendes geochemisches Milieu sein. Die Sondenschläuche (Doppel-U-Rohre) stehen unter Umständen nicht zentrisch im Bohrloch, sondern liegen an der Bohrlochwand an und schaffen damit Kontaktbrücken, welche die Abdichtung einschränken. Hat eine Bohrung zwei oder mehrere Grundwasserleiter mit unterschiedlichen hydraulischen Potenzialen durchteuft, besteht die Möglichkeit einer Strömung im Bohrloch. Dadurch wird eine zuverlässige Abdichtung erheblich erschwert: In der Folge kommt es zu dauerhaften hydraulischen Stockwerksverbindungen.

- ➔ Zur Qualitätskontrolle von Ausbaumaßnahmen werden in der Bohrtechnik häufig geophysikalische Bohrlochmessungen eingesetzt. Bei Erdwärmesondenbohrungen im ausgebauten Zustand wird der Einsatz dieser Technik von den Durchmessern der Sondenschläuche beschränkt. Mit Ausnahme der Temperaturmessungen haben die übrigen derzeit eingesetzten Verfahren die Praxisreife noch nicht erreicht. Bei der Befahrung von eingebauten Sondenschläuchen treten in der Praxis immer wieder Schwierigkeiten auf.
- ➔ Eine falsche oder mangelhafte geologische Ansprache des Bohrguts und eine ungenügende Dokumentation des Bohr- und Ausbavorgangs erschweren bei Schadensfällen die Analyse der Schadensursache und damit auch die sachgerechte Sanierung.

Ausblick

Die vorliegenden Erfahrungen mit Schadensfällen bei Erdwärmesondenbohrungen geben Anlass, neben erhöhten Anforderungen an die Qualität des Bohrbetriebs auch Fragen der Kontroll- und Sanierungstechniken ins Auge zu fassen. Ein deutliches Verbesserungspotenzial wird in der geologischen Betreuung solcher Bohrungen gesehen. Insbesondere im Hinblick auf:

- ➔ sachgerechte Probenahme beim Bohren,
- ➔ korrekte geologische Ansprache des Bohrguts (auch Fremdüberwachung durch erfahrene Geologen),
- ➔ Erkennen der hydrogeologischen Situation an der Bohrstelle,
- ➔ Wasserzutritte,
- ➔ Wasserstandsmessungen,
- ➔ Spannungszustände von Aquiferen,
- ➔ Grundwasserstockwerke,
- ➔ Dokumentation von Bohrvorgang und Ausbau sind deutlich höhere Anforderungen zu stellen. Die Leitlinien zur Qualitätssicherung bei Erdwärmesondenbohrungen LQS EWS des baden-württembergischen Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft [3] sind ein Schritt in diese Richtung.

Eine Befahrung der Sondenschläuche mit Messsonden ist schwierig, insbesondere die Dichtheit der Ringraumhinterfüllung ist nur aufwändig nachzuweisen, beispielsweise durch tiefenbezogene Thermal-Response-Tests. Hier besteht weiterer Entwicklungsbedarf.

Die Trennung von Grundwasserleitern und damit die Ringraumabdichtung der Bohrungen muss dauerhaft sein. Dies ist insbesondere im baden-württembergischen Schichtstufenland, mit einer Wechselfolge von zahlreichen Grundwasserleitern und -geringleitern, von besonderer Bedeutung. Derzeit werden von den Baustoffherstellern für die Hinterfüllmaterialien Gewährleistungen für die Dauer von rund 50 Jahren ausgesprochen. Unklar ist, ob die Baustoffe deutlich längere Lebenserwartungen, im Extremfall bis hin zu geologischen Zeiträumen, haben können. Verlässliche Aussagen über das Langzeitverhalten von Baustoffen und Abdichtungssystemen von EWS-Bohrungen sind hierzu erforderlich.

Die üblicherweise im Festgestein praktizierten Hammerbohrungen werfen die Frage der hinreichenden Vertikaltreue auf. Abweichungen des Bohrungsverlaufs von der Lotrechten können die Ringraumabdichtung beeinträchtigen und führen im Sanierungsfall zu erheblichem Mehraufwand und Kosten. Ebenso ist der Gesichtspunkt ausreichender Verrohrungstiefen noch weiter zu betrachten. Die Erfahrungen mit den bisherigen Schadensfällen zeigen, dass bei misslungenen Ringraumabdichtungen nur durch schnelle Sanierungsmaßnahmen Schäden vermindert werden können. Signifikante Abweichungen von der Vertikalen machen ein Überbohren der Erdwärmesonde praktisch unmöglich. Die nachträgliche Ringraumabdichtung mittels Injektionen ist schwierig. Da derzeit keine standardisierten Sanierungsverfahren vorhanden sind, sind diesbezüglich weitere Entwicklungsmaßnahmen erforderlich. Ebenso ist bisher noch keine Technologie zum gesicherten Rückbau von Erdwärmesonden vorhanden.

Quellenverzeichnis

- [1] Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau: Geologische Untersuchungen von Baugrundhebungen im Bereich des Erdwärmesondenfeldes beim Rathaus in der historischen Altstadt von Staufen i. Br. Sachstandsbericht vom 01.03.2010, Az. 94-4763//10-563; http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/home/schadensfall_staufen; Zugriff am 30.03.2012.
- [2] Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau: Informationssystem oberflächennahe Geothermie Baden-Württemberg (ISONG). www.geothermie-bw.de, www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/Fachbereiche/geothermie/is_geothermie; Zugriff am 30.03.2012.
- [3] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden (LQS EWS). 28 S., 4 Anlagen. www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/87437/; Zugriff am 30.03.2012.
- [4] Wagenplast, P.: Ingenieurgeologische Gefahren in Baden-Württemberg. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Informationen 16, Freiburg i. Br. (2005).