

# Entwicklung der Geothermie in Hessen



JOHANN-GERHARD FRITSCHÉ & SVEN RUMOHR

## Einführung

Die Erschließung und Nutzung geothermischer Energie besitzt nicht mehr den Status des Exotischen, sondern hat längst Eingang gefunden in die Zielsetzungen von Politik und Gesetzgebung. So gilt sie als eine der erneuerbaren Energien im Sinne des am 1. Januar 2009 in Kraft getretenen Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG), das das Ziel aufgestellt hat, bis zum Jahr 2020 mindestens 14 % des Wärme- und Kälteenergiebedarfs von Gebäuden durch erneuerbare Energien zu decken. Ihre Erschließung und Nutzung soll auch einen Beitrag leisten, um das Ziel des Landes Hessen zu erreichen, bis zum Jahr 2020 20 % des Endenergiebedarfs (ohne Verkehr) aus erneuerbaren Energien zu decken (Energie-Forum Hessen 2010). Auch das 2009 novellierte „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ (EEG) bietet nun eine höhere Einspeisevergütung für mit tiefer Geothermie produzierten Strom und es wurden ein Wärmenutzungsbonus sowie ein Technologiebonus eingeführt.

Vor diesem Hintergrund sind auch weiterhin die Tätigkeiten des HLOG zu verschiedenen Aspekten der Geothermie im Jahr 2010 sehr umfangreich. Das HLOG berät das Hessische Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUELV) zu Projekten zur Förderung neuer Techniken aus dem Bereich der Geothermie (z. B. Tiefe Erdwärmesonde Heubach), zu Nutzungskonflikten und Risiken und führt zusammen mit der TU Darm-



**Abb. 1:** Errichtung einer Erdwärmesondenanlage zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie.

stadt das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „3 D-Modellierung der tiefeingeothermischen Potenziale von Hessen“ durch.

Daneben unterstützt es das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (HMWVL) zu Fragen der Präsentation der sich in

Hessen entwickelnden Geothermiebranche (Kompetenzatlas Oberflächennahe Geothermie). Es berät Wasser- und Bergbehörden und auch Planer und Bürger zu verschiedenen Fragen bei konkreten Geothermieprojekten. Für die Bereitstellung geothermischer Kenngrößen hat das HLUG die Erfassung dieser Größen ab Ende 2009 intensiviert.

## Oberflächennahe Geothermie

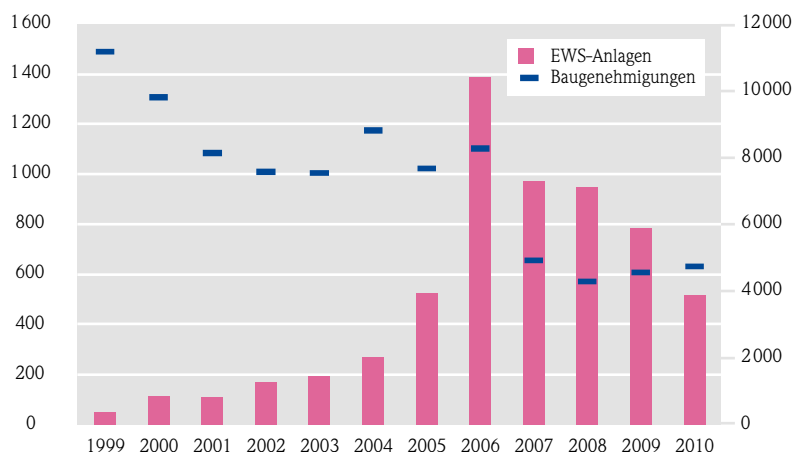
### Entwicklung und aktueller Stand

In Hessen erfolgt die Nutzung der oberflächennahen Geothermie unverändert überwiegend mittels Erdwärmesonden (EWS, Abb. 1), deren Anteil an den bekannten geothermischen Anlagen in Hessen über 97 % beträgt<sup>1</sup>. Die nachfolgende Darstellung beschränkt sich daher auf Erdwärmesonden. Die Auswertung erfolgt anhand des am HLUG geführten Erdwärmeverzeichnisses Hessen, in dem die technischen Daten aller genehmigten Anlagen zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie erfasst werden.

Zum Stichtag 1.12.2010 ist die Gesamtzahl der in Hessen genehmigten EWS-Anlagen auf rd. 6 100 Anlagen angestiegen, wobei die Zahl der jährlich erteilten Genehmigungen seit 2007 deutlich rückläufig ist (Abb. 2). Ursächlich sind hierfür der Abwärtstrend im Eigenheimbau nach 2006 (RUMOHR 2008) sowie eine Zunahme des Marktanteils Luft/Wasser-Wärmepumpen zu Lasten der EWS-gekoppelten Sole/Wasser-Wärmepumpe ab 2006 auf mittlerweile rd. 50 %. Gründe sind nach Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP, 2009) u. a. die relativ hohen Kosten für Sondenbohrungen und der Trend zu immer effizienteren Luft/Wasser-Wärmepumpen. Für

höhere Erstellungskosten der Erdwärmesondenanlagen sind in Hessen auch die im März 2010 in Kraft getretenen Anforderungen des Gewässerschutzes an Erdwärmesonden verantwortlich (StAnz. 15/2010, S. 1150). Diese geben für Anlagen in Wasserschutzgebieten einen frostfreien Betrieb vor, der eine Erhöhung der Gesamtlänge einer EWS-Anlage erfordert.

Beim überwiegenden Anteil der bisher genehmigten EWS-Anlagen handelt es sich um sog. „kleine Anlagen“ mit einer Heizleistung bis 30 kW, wobei der Anteil der „großen Anlagen“ (Heizleistung über 30



**Abb. 2:** Anzahl der jährlich erteilten Baugenehmigungen für Ein- und Zweifamilienhäuser und der jährlich erteilten Genehmigungen für Erdwärmesondenanlagen in Hessen.

<sup>1</sup> Als weitere Anlagentypen sind dem HLUG 145 geothermische Brunnenanlagen und 37 Erdwärmekollektoren bekannt. Erdwärmekollektoren sind i. d. R. genehmigungsfrei, so dass der volle Umfang, in dem diese errichtet werden, den Behörden unbekannt ist.

kW) von rd. 5 % im Betrachtungszeitraum bis 2008 (Rumohr 2009) auf rd. 8 % im Betrachtungszeitraum 2009/2010 deutlich angestiegen ist. Gleichzeitig ist bei den kleinen Anlagen eine Verschiebung zu kleine-

ren Heizleistungen und weniger Gesamtbohrmetern erkennbar – eine Folge verbesserter Gebäudedämmung gemäß der 2009 in Kraft getretenen Energieeinsparverordnung EnEV 2009.

## Anforderungen des Gewässerschutzes an Erdwärmesonden

Das in Hessen für Erdwärmesonden (EWS) erforderliche Erlaubnisverfahren wird seit dem 25. März 2010 durch den erneuerten Erlass „Anforderungen des Gewässerschutzes an Erdwärmesonden“ (StAnz. 15/2010, S. 1150) geregelt. Dieser fasst die sich aus bestehenden gesetzlichen Regelungen, z. B. zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen ergebenden Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Erdwärmesonden zusammen und regelt den Ablauf des Genehmigungsverfahrens. Änderungen gegenüber der bisherigen Regelung vom 8. Juni 2004 (StAnz. 26/2004, S. 2159) beruhen auf Änderungen der gesetzlichen Vorgaben, z. B. des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG), aber auch auf Erfahrungen zu Risiken und Qualitätsmängeln.

Eine wesentliche Änderung der Anforderungen besteht in der Forderung eines frostfreien Betriebs von EWS in bestimmten Gebieten, z. B. in den Zonen IIIA von Wasserschutzgebieten. Hiermit reagiert das Land Hessen auf die Feststellung, dass die Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit der Abdichtung von EWS-Bohrungen bisher nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden kann. Bei einer nicht ausreichenden Beständigkeit verliert die Bohrlochabdichtung ihre zum Schutz tieferer Grundwasservorkommen erforderliche Funktion.

Augenfälligstes Risiko bei Bohrungen ist das Antreffen artesisch gespannten Grundwassers, wie beispielsweise Ende 2009 bei einer EWS-Bohrung für das Finanzministerium in Wiesbaden. Auch im Jahr 2010 wurden an verschiedenen Standorten bei Erdwärmesondenbohrungen Arteser angetroffen (Abb. 3). Da das Erbohren eines Artesers bzw. dessen mangelhafte Abdichtung erhebliche finanzielle Auswirkungen haben können, wird mit dem Erlass „Anforderungen des Gewässerschutzes an Erdwärmesonden“ nun auch empfohlen, eine entsprechende Haftpflichtversicherung abzuschließen.



**Abb. 3:** Aus einer Erdwärmesondenbohrung wegen mangelnder Abdichtung austretendes Wasser.

<sup>2</sup> auch als Download unter: [www.hmuelv.hessen.de](http://www.hmuelv.hessen.de) > Umwelt > Gewässerschutz > Anlagen- und stoffbezogener Gewässerschutz > Erdwärmesonden oder [www.hlug.de](http://www.hlug.de) > Geologie > Erdwärme

## Erfassung von Kenngrößen des oberflächennahen geothermischen Potenzials

Die für die Bemessung von EWS-Anlagen wichtigsten geothermischen Kenngrößen sind die Wärmeleitfähigkeit der an einem Standort im Untergrund anstehenden Gesteine und die Untergrundtemperatur. Im Rahmen eines seit Ende 2008 laufenden Projektes zur Erhebung dieser Kenngrößen wurden im Jahr 2010 die Aktivitäten zur Messung der Wärmeleitfähigkeiten hessischer Gesteine sowie der Untergrundtemperaturen verstärkt. Dass die Untergrundtemperaturen und damit das geothermische Potenzial an verschiedenen Standorten Hessen deutlich voneinander abweichen, zeigen die in Abb. 4 dargestellten Temperaturprofile.

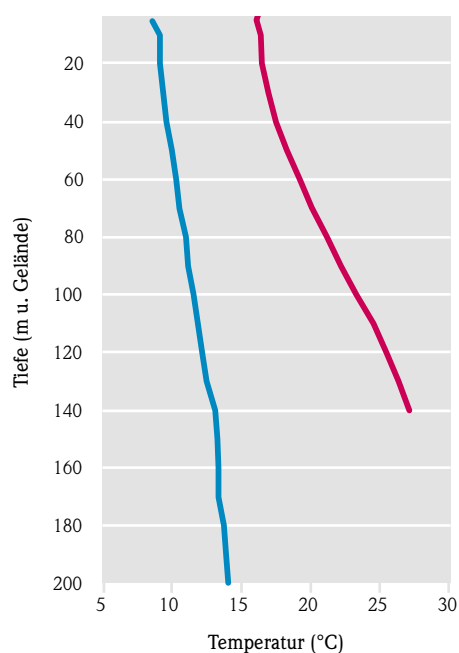


Abb. 4: Temperaturprofile des Untergrundes zweier Standorte in Hessen.

## Tiefe Geothermie

### 5. Tiefengeothermieforum

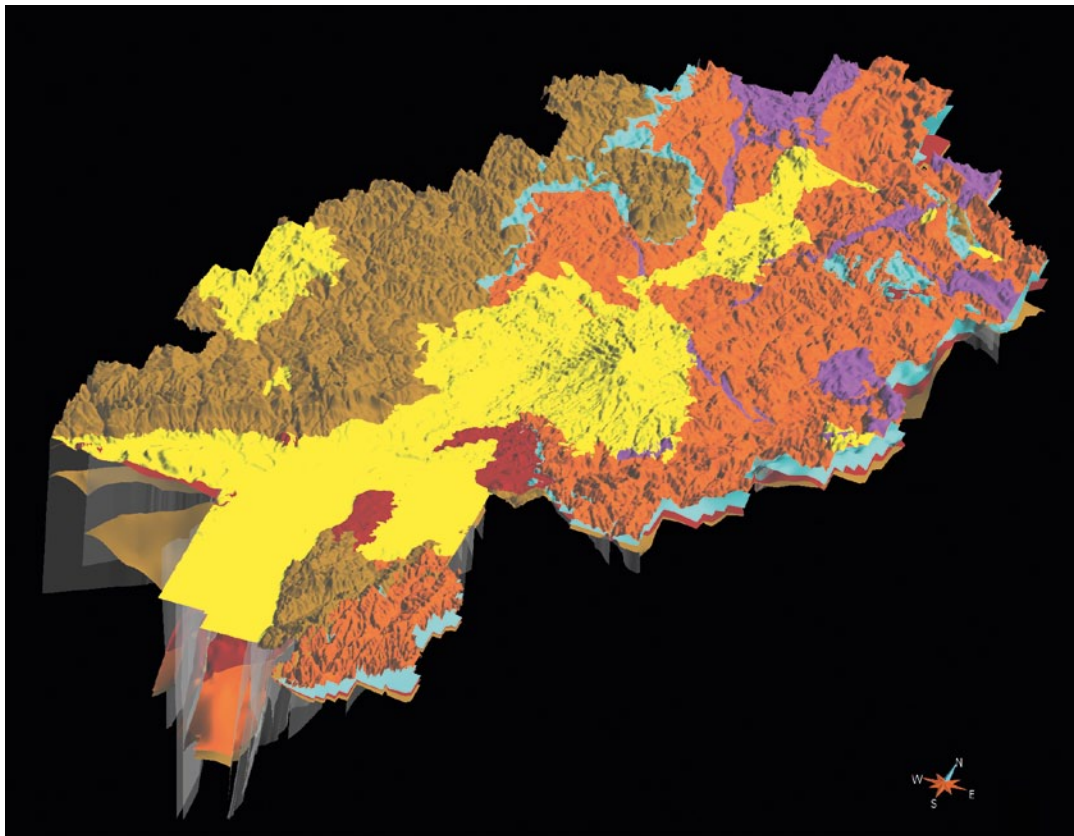
Unter dem Leitthema „Standorte, Reservoirs und Technologien“ veranstaltete am 15. September 2010 das HMUELV zusammen mit dem Institut für Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt und dem HLOG das 5. Tiefengeothermieforum Hessen.

Moderiert von Thomas Ranft, Wissenschaftsjournalist und hr-Moderator, vermittelte die Veranstaltung den ca. 120 Teilnehmern im Justus-Liebig-Haus in Darmstadt einen Überblick zum aktuellen Stand der Tiefengeothermie in Hessen. Der Darstellung der Zwischenergebnisse des Forschungs- und Entwicklungsprojekts „3D-Modell der geothermischen Tiefenpotenziale in Hessen“ folgten Vorträge zu Nutzungskonflikten mit der Tiefengeothermie, insbesondere der Speicherung von CO<sub>2</sub> im Untergrund (CCS - Carbon Capture and Storage), zu neuen Erkundungsmethoden geothermisch relevanter Parameter des tiefen Untergrundes und zu neuen Bohrtechnologien. Die Vorstellung eines anlaufenden Projekts bei Groß-Umstadt zur Wärmeversorgung eines Industriebetriebes mit einer mitteltiefen Erdwärmesonde sowie eine abschließende Podiumsdiskussion schlossen die Veranstaltung ab.

### Projekt „3D-Modellierung der tiefengeothermischen Potenziale von Hessen“

Im Jahr 2010 traten die vom HLOG und dem Institut für Angewandte Geowissenschaften der TU Darmstadt durchgeführten Arbeiten an dem vom HMUELV finanzierten Forschungsprojekt „3D-Modellierung der tiefengeothermischen Potenziale von Hessen“ in eine entscheidende Phase: Es wurden bis Jahresende sowohl das für die geothermische Potenzialbetrachtung grundlegende geologische 3-D-Modell fertig gestellt als auch eine große Anzahl neuer Daten geothermischer, hydraulischer und gesteinsphysikalischer Eigenschaften gewonnen und eine Systematik zur Bewertung des Potenzials erarbeitet.

Für das geologische Modell wurden sämtliche geologischen Schnitte und Karten des HLOG in verschiedenen Maßstäben und weiteren Daten aus der Literatur verwertet, seismische Profile neu interpretiert sowie bestehende geologische Modelle von Teilräumen integriert. Des Weiteren wurden alle dem HLOG digital vorliegenden sowie die Bohrungen der so genannten Kohlenwasserstoffdatenbank verwendet. Die in dieser Datenbank verwendeten Bohr-



**Abb. 5:** Geologisches 3D-Modell von Hessen. Blick von Südosten mit den Modellhorizonten Top Quartär und Tertiär (gelb), Top Muschelkalk (violett), Top Buntsandstein (orange), Top Zechstein (hellblau), Top Rotliegend (rot), Top Prä-Perm (grau) (ARNDT et al., 2010).

lochabweichungsdaten wurden dabei berücksichtigt. Das dreidimensionale geologische Strukturmodell (Abb. 5) liefert nun für ganz Hessen die räumlichen Geometrien maßgeblicher stratigraphischer Einheiten und ausgewählter Störungen. Des Weiteren wurden alle für Hessen verfügbaren Daten der Untergrundtemperatur in das Modell integriert und zur Berechnung der Untergrundtemperaturverteilung genutzt.

Im Projektteil geothermisches Modell wurde ein Konzept entwickelt, die qualitative Beurteilung des Potenzials für verschiedene geothermische Nutzungssysteme (hydrothermal, petrothermal, störungsbezogen, tiefe Erdwärmesonden) im Sinne eines Multikriterienansatzes vorzunehmen. Als Grundlage dazu wurden für alle genannten Parameter Grenzwerte festgelegt, die definieren, ob für den vorliegenden Wertebereich ein sehr hohes,

hohes, mittleres, geringes oder sehr geringes Potenzial vorliegt (Abb. 6).

Die Temperatur in einer bestimmten Tiefe definiert zunächst, für welche geothermischen Anwendungen

Potenzial	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]	< 1,0	> 1,0	> 2,0	> 3,0	> 5,0
Reservoirtemperatur [°C]	< 20	> 60	> 100	> 120	> 150
Geothermischer Grad. [K/km]	< 20	> 20	> 30	> 40	> 50
Gesteinspermeabilität [m <sup>2</sup> ]	< 1·10 <sup>-15</sup>	> 1·10 <sup>-15</sup>	> 1·10 <sup>-13</sup>	> 1·10 <sup>-11</sup>	> 1·10 <sup>-9</sup>
Gebirgsdurchlässigkeit [m/s]	< 1·10 <sup>-8</sup>	> 1·10 <sup>-8</sup>	> 1·10 <sup>-6</sup>	> 1·10 <sup>-4</sup>	> 1·10 <sup>-2</sup>
Transmissibilität [m <sup>2</sup> /s]	< 5·10 <sup>-14</sup>	> 5·10 <sup>-14</sup>	> 5·10 <sup>-12</sup>	> 5·10 <sup>-10</sup>	> 5·10 <sup>-8</sup>
Transmissivität [m <sup>2</sup> /s]	< 5·10 <sup>-7</sup>	> 5·10 <sup>-7</sup>	> 5·10 <sup>-5</sup>	> 5·10 <sup>-3</sup>	> 5·10 <sup>-1</sup>

**Abb. 6:** Grenzwerte der einzelnen geothermischen Kennwerte, die für die qualitative Potenzialausweisung herangezogen werden. Jede Potenzialstufe erhält für die vereinfachte weitere Darstellung eine Farbkodierung (BÄR et al., 2010).

sich die in der entsprechenden Tiefenlage vorkommende Einheit grundsätzlich geothermisch nutzen ließe. So ist ab einer Formationstemperatur von ca. 60°C die Heizwärmegewinnung und ab ca. 100°C (technische Grenze) bzw. 120°C (wirtschaftliche Grenze) die geothermische Stromerzeugung möglich. Ein weiterer definierender Faktor sind die hydraulischen Reservoireigenschaften. Erst bei Permeabilitäten bzw. Durchlässigkeiten, die in Abb. 2 als mittleres Potenzial ausgewiesen werden, ist bei ausreichender Formationsmächtigkeit eine hydrothermale Nutzung ohne zusätzliche Stimulationsmaßnahmen möglich. So kann für das Rotliegend im nördlichen Oberrheingraben aufgrund seiner Formationstemperatur und seiner hydraulischen und thermophysikalischen Gesteinseigenschaften und unter Berücksichtigung des zu erwartenden Kluft- und Störungssystems ein mittleres bis hohes Potenzial für die hydrothermale Stromerzeugung ausgewiesen werden (Sass et al., 2010).

Bis zum Projektabschluss Ende Juni 2011 wird für ganz Hessen bis in eine Tiefe von 6 km eine dreidimensionale qualitative und quantitative Potenzialausweisung für verschiedene direkte und indirekte tiefengeothermische Nutzungsarten vorliegen. Die Veröffentlichung dieser Potenzialdarstellung in einem Kartenviewer bzw. in einem 3D-Betrachtungsprogramm und als Web-Map-Service ist vorgesehen.

Damit wird der Beschluss des hessischen Landtags verwirklicht, das tiefengeothermische Potenzial in Hessen zu bewerten (FRITSCH & KRACHT 2010). Die Informationen können als Grundlage von Vorstudien und lokalen Machbarkeitsstudien konkreter Projekte die Auswahl von Gebieten erlauben, in denen eine wirtschaftliche Nutzung der tiefen Geothermie sinnvoll erscheint und sie werden zur Information der Öffentlichkeit und politischer Entscheidungsträger dienen.

## Erkundungen in den Erlaubnisfeldern

Im Frühjahr 2010 wurde in den drei Erlaubnisfeldern zur Aufsuchung von Erdwärme und Sole zu gewerblichen Zwecken Wiesbaden, Rhein-Main und Groß-Gerau eine umfangreiche 2-D-Seismik vorgenommen. Erstmals arbeiteten hierbei die Konzessionsinhaber der drei Erlaubnisfelder bei Planung und Ausführung der seismischen Messungen zusammen. Dadurch konnten sowohl die Organisation der Messkampagne vereinfacht werden als auch die Messprofile hinsichtlich einer bestmöglichen Aufnahme der geologischen Strukturen aufeinander abgestimmt werden, um möglichst gut interpretierbare Informationen zu erhalten (Abb. 7).

Gerade in diesen nördlichen Erlaubnisfeldern des Oberrheingraben sind die Kenntnisse über den tiefen Untergrund bislang eher spärlich, da hier im Gegensatz zum südlichen hessischen Ried

keine Daten aus der Prospektion der Erdöl-/Erdgasindustrie vorhanden sind. Umso wertvoller sind die im Herbst den Behörden präsentierten Ergebnisse

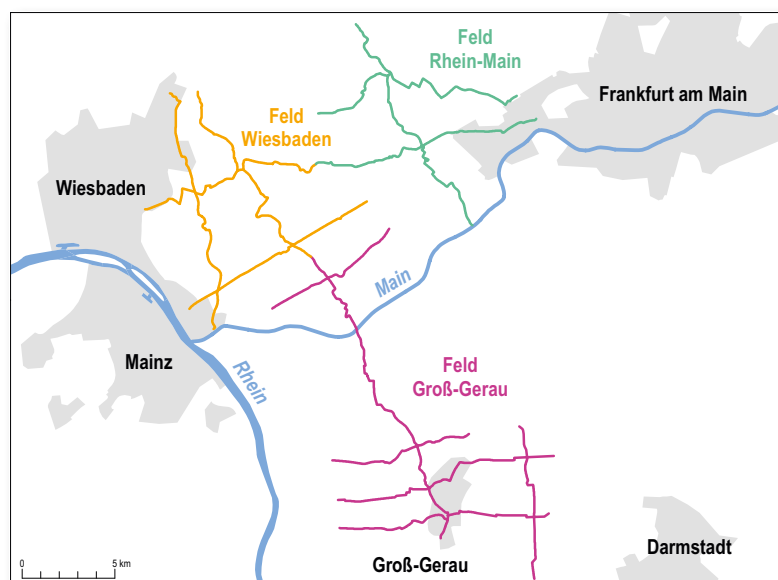


Abb. 7 Verlaufslinien der im Jahr 2010 durchgeführten 2-D- Seismik.

der Untersuchungen für die geologische Landesaufnahme. So sind unerwartet hohe Mächtigkeiten der tertiären Grabenfüllung am Nordrand des Oberrhein-

grabens nachgewiesen worden und es wurden wichtige Erkenntnisse über Störungssysteme im südlichen Taunusvorland gewonnen.

## **Projekt „Demonstrationsvorhaben Heubach“ startet**

In dem Ende 2010 begonnenen Projekt „Demonstrationsvorhaben Heubach“ soll die dezentrale Versorgung eines Industriebetriebes mit geothermischer Energie zum Heizen und Kühlen in Heubach bei Groß-Umstadt über eine 800 m tiefe koaxiale Erdwärmesonde exemplarisch geplant und ausgeführt und die Übertragbarkeit auf andere Gebiete demonstriert werden. Das Projekt wird vom HMUELV und der HSE AG Darmstadt finanziert, das HLOG übernimmt die fachliche und wissenschaftliche Begleitung des Vorhabens unter dem Aspekt Geologie und Geothermie.

Der Industriebetrieb stellt Strahlungsheizungen und -Kühlungen her und benötigt die geothermische Wärme für die Produktion und für die Heizung von Büroräumen. Die Gebäudedämmung erfolgt nach neuestem Standard, der effektive Fenster -U-Wert

(Wärmedämmwert) beträgt  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und es wird eine Unterschreitung der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 um 50% angestrebt. Es ist eine Heizleistung von ca. 130 kW vorgesehen bei 2000 Volllaststunden/Jahr und einer thermischen Arbeit von ca. 260 MWh.

Der forschungsrelevante Bereich für eine tiefe Erdwärmesonde liegt bei etwa 800 m, da bis in diese Tiefen die Bohrkosten durch die Verwendung konventioneller Brunnenbohrgeräte noch relativ niedrig gehalten werden können. In dem Zielgebiet stehen kristalline Gesteine (Gneise) an. Hier werden aus geologischer Sicht Neuerkenntnisse zu strukturellen Eigenschaften (Klüftung des Kristallins in größeren Tiefen), zur Fluidführung und zu gesteinsphysikalischen Parametern erwartet.

## **Rolle des HLOG bei Tiefengeothermie-Projekten in Hessen**

Dem HLOG kommt über die Beteiligung an Forschungsprojekten („Projekt Hessen 3-D“, Demonstrationsvorhaben Heubach) hinaus die wichtige Aufgabe zu, die Genehmigungsbehörden bei Vorhaben zur Tiefengeothermie fachlich zu beraten, geowissenschaftliche Daten zu sammeln und diese fachlich interpretiert zur Verfügung zu stellen. So berät es auch bei Nutzungskonflikten, wie sie durch Wasserschutzgebiete, Rohstoffsicherungsflächen, Erdgasspeicher, Kohlendioxidspeicherung im Untergrund (CCS) und Immissionsschutz gegeben sein können. Das HLOG stellt zur allgemeinen Information und zur Förderung der öffentlichen Akzeptanz außerdem Veröffentlichungen zur Tiefen Geothermie her, wie z. B. die Broschüre „Nutzung tiefer Geo-

thermie in Hessen (neue, erweiterte Auflage 2010), publiziert Karten, stellt auf seiner Homepage im Internet weitergehende Informationen zur Verfügung und ist Mitveranstalter des jährlich stattfindenden Tiefengeothermieforums.

Hinsichtlich möglicher Risiken, die mit der Nutzung der tiefen Geothermie verbunden sein könnten, hat das HLOG im Jahr 2010 für das HMUELV einen Vorschlag des Hessischen Erdbaubienstandes für einen allgemeingültigen Ablaufplan zur seismischen Überwachung von Bohrung und Stimulation ausgearbeitet. Außerdem wurde im Auftrag des HMUELV ein geologisch-radiologisches Fachgutachten zur Beschaffenheit der

bei Geothermiekraftwerken in Hessen zu erwartenden Thermalwasserförderung und zur Möglichkeit natürlich auftretender radioaktiver Ausfällungen in den Anlagenteilen erstellt. Für beide Themen erar-

beitet das HLOG derzeit zusammen mit der Bergverwaltung einen Leitfaden für die Durchführung von Tiefengeothermieprojekten.

## Literatur

- ARNDT, D.; BÄR, K.; HOPPE, A. & SASS, I. (2010): Geologische Strukturmodellierung von Hessen zur Bestimmung des geothermischen Potenzials. – Kurzfassung, GeoDarmstadt 2010, SDGG, Heft 68; Hannover
- BÄR, K.; ARNDT, D., FRITSCHKE, J.-G.; GÖTZ, A. E.; HEGGEMANN, H.; HOPPE, A.; HOSELMANN, C.; KRACHT, M., KÖTT, A.; LIEDMANN, W.; SASS, I. & STÄRK, A. (2010A): Konzept zur Quantifizierung des tiefengeothermischen Potenzials von Hessen am Beispiel des nördlichen Oberrheingraben. – Kurzfassung, GeoDarmstadt 2010, SDGG, Heft 68; Hannover
- BUNDESVERBAND WÄRMEPUMPE BWP e.V. (2009): BWP-Branchenstudie 2009
- ENERGIE-FORUM HESSEN (2010): Bericht des Energie-Forums Hessen 2010: Ziele und Eckpunkte des Hessischen Energiekonzepts für die Bereiche Energieeffizienz und Erneuerbare Energien. Download: <http://www.hessen-nachhaltig.de>
- FRITSCHKE, J.-G. & KRACHT, M. (2010): Tiefe Geothermie in Hessen: Überblick zum derzeitigen Stand und zu Nutzungskonflikten. – Kurzfassung, Tagung der Fachsektion Hydrogeologie in der DGG (FH-DGG), SDGG, Heft 67, Hannover
- RUMOHR (2008): Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Hessen – Ist das Ende des Booms erreicht? – Jahresbericht 2008 des HLOG, Wiesbaden
- RUMOHR (2009): Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Hessen – Zahlen und Kenngrößen; bbr 03/2009
- SASS, I., BÄR, K., ARNDT, D., FRITSCHKE, J.-G., GÖTZ, A.E., HEGGEMANN, H., HOPPE, A., HOSELMANN, C., KRACHT, M., KÖTT, A., LIEDMANN, W. & STÄRK, A. (2010): Stand des 3D-Modells der geothermischen Tiefenpotenziale in Hessen. Standortbezogene Potenzialausweisung anhand virtueller Bohrungen und Schnitte. Vortrag auf dem 5. Tiefengeothermieforum Hessen am 15.09.2010, Darmstadt (<http://www.hessenenergie.de/>)