



# Neue Temperaturkarten für verschiedene Tiefen in Baden-Württemberg

T. AGEMAR, J. BRUNKEN, M. JODOCY, R. SCHELLSCHMIDT, R. SCHULZ & I. STOBER

## 1 Einleitung

Im Rahmen des Projekts „Entwicklung eines Prognosetools zur Unterstützung standortbezogener Aussagen zur Fündigkeit hydrogeothermischer Projekte in Baden-Württemberg“ (GeoTool) hat das Regierungspräsidium Freiburg (RPF) Temperaturdaten für die baden-württembergischen Teile des Oberrheingrabens und des Süddeutschen Molassebeckens zusammengestellt und in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover (LIAG) ausgewertet. Zu diesem Zweck wurden vom RPF bisher noch nicht vorliegende analoge Unterlagen aus Bohrungen der Kohlenwasserstoff (KW) – Industrie sowie aus Thermal- und Mineralwassererschließungen recherchiert und digital aufgearbeitet.

## 2 Datenquellen und Datenqualität

Grundlage für die Datenrecherche des RPF bildete der Datenbestand des Fachinformationssystems Geophysik (FIS-GP) des LIAG. Eine Abfrage und Aufarbeitung der dort abgelegten Temperaturdaten für Baden-Württemberg ergab einen Gesamtüberblick der zurzeit digital erfassten Daten.

Zur Ergänzung dieses Datenbestands wurde aufbauend auf den Recherchen von SCHELLSCHMIDT & STOBER (2008) eine behördeninterne Datenrecherche in analogen Bohrunterlagen durchgeführt. BHT-Messungen (Abk. für Bottom Hole Temperature) nehmen dabei einen großen Raum ein, da sie in fast allen Industriebohrungen unmittelbar nach Einstellen der Bohrarbeiten im Bohrlochtiefsten durchgeführt werden. Diese BHT-Werte sind durch den Bohrvorgang thermisch gestört. Da im Bohrlochtiefsten der störende Einfluss des Spülungsumlaufs auf das Temperaturfeld am geringsten ist, ist eine Korrektur dieser BHT-Werte auf ungestörte Temperaturen möglich.

Primäres Ziel war die Ermittlung von Temperaturwerten aus geophysikalischen Bohrlochmessungen mit ergänzenden und bislang nur selten bekannten Angaben über korrespondierende Stillstandzeiten und Bohrloch- bzw. Rohrdurchmesser. Diese

Zusatzinformationen sind für die Korrektur von besonderer Bedeutung. Die auf dieser Basis abgeschätzten Endtemperaturen für das Bohrloch tiefste geben einen Hinweis auf die tatsächlich im Untergrund anzutreffenden Temperaturverhältnisse. Weiterhin wurden soweit möglich zu den einzelnen Messwerten Datumsangaben erfasst, die neben den expliziten Angaben zur Stillstandzeit ebenfalls alternative Hinweise auf mögliche Ruhephasen zulassen.

Darüber hinaus wurden kontinuierliche Temperaturmessungen in den Bohrungen (Temperatur-Logs) erfasst und digital aufbereitet. Die Temperatur-Logs zeigen häufig einen S-förmigen Kurvenverlauf, wie er für durch den Bohrbetrieb gestörte Aufzeichnungen typisch ist. In diesen gestörten Temperaturverläufen machen sich überwiegend zu kurze Stillstandzeiten zwischen dem Bohrbetrieb und der Durchführung der Temperaturmessung bemerkbar. Sie schränken die Verwendbarkeit der Messungen stark ein. Daneben wurden vereinzelt Temperaturmessungen aus vorliegenden hydraulischen Tests und hydrochemischen Probenahmen integriert, genauso wie im Zuge der Erstellung der Geothermischen Synthese (CEC 1978, 1981) für den Oberrheingraben erfasste Daten.

### 3 Datenverarbeitung

Die zusammengetragenen Temperatur- und Korrekturdaten wurden nach manueller Durchsicht und Prüfung durch das RPF dem LIAG zwecks Korrektur und Integration in das FIS-GP übergeben (RPF-Bericht vom 22. Februar 2010). Die im Anhang des Berichts übersandte CD-ROM beinhaltet eine Excel-Tabelle mit bislang nicht im FIS-GP aufgeführten Temperaturmessungen und / oder ergänzenden Parametern (Bohr- und Rohrdurchmesser, Stillstandzeit und Messdatum) zur Korrektur der BHT-Werte. Daneben waren Auffälligkeiten bzw. Ungereimtheiten einzelner Datensätze enthalten und hervorgehoben, stellenweise ergänzt mit Vorschlägen zum weiteren Umgang. Tabelle 1 gibt die Anzahl der übermittelten Datensätze zusammengefasst wieder.

Tab. 1: Anzahl der übermittelten Datensätze.

Zielregion	Anzahl übermittelter Bohrungen		Anzahl übermittelter Einzelwerte differenziert nach Bestimmungsmethode		
	gesamt	davon neu	BHT	Temperatur-Log	Fördertest
<b>Oberrheingraben</b>	123	24	275	157	32
<b>Molassebecken</b>	188	17	847	77	1

Die übermittelten Daten wurden nach einer weiteren Prüfung der Einzelwerte auf Plausibilität durch das LIAG in den bestehenden Datensatz des FIS-GP eingearbeitet. Der Umfang des FIS-GP nach abgeschlossener Einarbeitung der vom RPF übermittelten Temperatur- und Korrekturdaten beläuft sich auf insgesamt 1343 erfasste Bohrungen in

Baden-Württemberg. Für 781 dieser Bohrungen liegen Angaben über Temperaturen in Form von BHT-Werten und Temperatur-Logs vor. Insgesamt handelt es sich um 4671 Temperaturdatensätze. Die angewandten Korrekturverfahren wurden von SCHULZ & SCHELLSCHMIDT (1991) beschrieben. Die Daten des FIS-GP sind selbstverständlich für alle Mitarbeiter des Geologischen Dienstes abrufbar.

## 4 Temperaturkarten

Für Baden-Württemberg wurden von SCHELLSCHMIDT & STÖBER (2008) Temperaturkarten für verschiedene Tiefenlagen berechnet. Als Bezugsfläche wurde damals die Geländehöhe gewählt, die abgeleiteten Karten zeigten dementsprechend das jeweilige Temperaturniveau in Meter unter Gelände. Eine Beurteilung der Güte der berechneten Temperaturwerte war aufgrund der zugrundeliegenden Interpolationsmethode nicht möglich.

Für das neue Temperaturmodell und die daraus abgeleiteten Temperaturkarten wurden alle Daten aus dem FIS-GP mit Stand vom 20. Juni 2011 herangezogen. Damit waren auch alle neu recherchierten Temperaturwerte in dieser Abfrage enthalten. Der abgefragte Datensatz wurde um Bodentemperaturmessungen ergänzt. Dabei kamen ausschließlich gemessene Werte zum Tragen, da es sich beim FIS-GP um eine Datenbank mit realen Messdaten aus Bohrungen handelt. In das Modell flossen demnach keine berechneten Temperaturwerte ein. Als Bezugsfläche wurde für die neuen Darstellungen reliefunabhängige, horizontale Flächen in Meter NN gewählt, da mit zunehmender Tiefe der Einfluss der Topographie auf das Temperaturfeld immer kleiner wird (Kutasov 1999).

Vor der Berechnung des Temperaturmodells wurden die eingehenden Daten gefiltert. Dabei wurden Temperaturmessungen in weniger als 5 km Entfernung zu einer Temperaturmessung höherer Qualität aussortiert und nicht weiter berücksichtigt. Die Temperaturmessung höherer Qualität darf dabei nur maximal 300 m höher liegen. Aus Einzelmessungen wurde durch vertikale Interpolation in 100-m-Schritten ‚virtuelle‘ Logs erstellt. Zur Interpolation wurde auf die Universal Kriging - Methode zurückgegriffen. Im Gegensatz zu herkömmlichen 2D-Algorithmen wurden die Daten räumlich und nicht flächenweise interpoliert, da sonst die Gefahr besteht, mit zunehmender Tiefe inkonsistente Temperaturgradienten zu erhalten. Dies liegt meist daran, dass bei jeder 2D-Berechnung die Informationen aus geringerer Tiefe unberücksichtigt bleiben. Grundsätzlich bietet Kriging die beste Anpassung an die gemessenen Daten, da die Gewichtung der Daten erst in einer genauen Analyse der räumlichen Varianz festgelegt werden. Neben der Vorhersage der Temperatur wird auch die Kriging-Varianz berechnet. Damit ist es möglich, den Schätzfehler für eine vorhergesagte Temperatur zu bestimmen. Generell nimmt der Schätzfehler mit größeren Abständen zu den Messungen zu. Weitere Details zur Datenaufbereitung und Methodik wurden von AGEMAR et al. (2011) ausführlich beschrieben.

Die Karten zeigen die Temperaturverteilung für verschiedene Tiefen. In jeder Karte wurden alle im 3D-Temperaturmodell berücksichtigten Bohrungen dargestellt, welche die jeweilige Tiefenebene durchteufen (siehe Anlagen). Neben Temperaturmessungen der dargestellten Bohrungen gehen für die jeweilige Tiefenebene auch Messungen von flacheren Bohrungen in die dargestellte Temperaturverteilung ein, allerdings mit geringerer Gewichtung. Vorab herausgefilterte Werte werden nicht abgebildet. Die Belegpunkte werden je nach Datenqualität mit kleineren oder größeren Symbolen dargestellt. Kleine Symbole bilden Temperaturwerte mit der größten Unsicherheit ab. Es handelt sich um einfache BHT-Messungen ohne Angaben zu Standzeiten. Die nächsthöhere Kategorie mit mittlerer Symbolgröße umfasst BHT-Messungen mit Standzeiten, BHT-Mehrfachmessungen sowie gestörte Temperatur-Logs. Trotz Korrektur sind diese Temperaturwerte noch mit einem Fehler von ca.  $\pm 8$  K behaftet. Die Daten mit der höchsten Qualität werden mit dem größten Symbol dargestellt und umfassen ungestörte Temperatur-Logs und weitere hochwertige Messungen, die u. a. aus Fördertests stammen. Die Schwankungsbreite dieser Temperaturwerte liegt überwiegend unter 1 K.

In der Kartendarstellung sind die Bereiche aufgehellt abgebildet, bei denen bezüglich der Aussagekraft eine größere Unsicherheit herrscht. Die maximalen Interpolationsradien um einzelne Punktwerte aus Bohrungen wurden aus der geostatistischen Analyse der Temperaturdaten abgeleitet und betragen im Oberrheingraben lateral 65 km und vertikal 2 km. Da über diese Entfernungen hinaus keine Aussage mit vertretbarer Zuverlässigkeit mehr machbar ist, werden im Modell für diese Bereiche keine Werte berechnet. In den Karten sind die entsprechenden Regionen mit grauen Flächen gekennzeichnet.

Das Geothermische Informationssystem GeotIS bietet unter der URL <http://www.geotis.de> Zugang zum kompletten 3D-Temperaturmodell. Über eine komfortable Benutzerschnittstelle können hier weitere Karten und auch Schnitte mit der Verteilung der Untergrundtemperatur dargestellt werden.

## 5 Danksagung

Wir danken Herrn Klaus Kühne vom LIAG für die Hilfestellung bei der Datenabfrage im Fachinformationssystem Geophysik und Frau Karin Große vom LIAG für die Hilfe bei der Datenverarbeitung. Weiterhin danken wir Herrn Ralf Person (RPF) für die Mitarbeit bei der Datenerfassung. Die Entwicklung des 3D-Temperaturmodells wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen der Projekte „Aufbau eines Internet-basierten Informationszentrums für geothermische Energienutzung“ (FKZ 0327542A) und „GeoTool“ (FKZ 0325136) gefördert.

## 6 Literatur

- AGEMAR, T., SCHELLSCHMIDT, R. & SCHULZ, R. (2011): 3D-Modell der Untergrundtemperatur von Deutschland. – Der Geothermie-Kongress 2011; Tagungsband-DVD; Bochum.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1979): Geothermische Synthese des Oberrheingrabens. - BRGM Alsace & Geologisches Landesamt Baden-Württemberg; Strasbourg, Freiburg.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1981): Geothermische Bestandsaufnahme des Oberrheingrabens. – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg; Freiburg i. Br..
- JODOCY, M. & STOBER, I. (2010): Erfassung von Temperaturdaten für die baden-württembergischen Teile des Oberrheingrabens und Süddeutschen Molassebeckens. – Bericht Regierungspräsidium Freiburg vom 22.02.2010; Freiburg i. Br.
- Kutasov, I. M. (1999): Applied Geothermics for Petroleum Engineers. Elsevier Science B. V., Niederlande, 347 Seiten.
- SCHELLSCHMIDT, R. & STOBER, I. (2008): Untergrundtemperaturen in Baden-Württemberg. - LGRB-Fachbericht, 2, Regierungspräsidium Freiburg; Freiburg i. Br.
- SCHULZ, R. & SCHELLSCHMIDT, R. (1991) Das Temperaturfeld im südlichen Oberrheingraben. Geologisches Jahrbuch 48(E): 153-165.

# **Anlagen**

**- 6 Temperaturkarten -**







