

## **GeotIS – Das Geothermische Informationssystem für Deutschland**

**Thorsten Agemar, Jessica-Aileen Alten, Jörg Kuder, Klaus Kühne, Sandra Pester, Rüdiger Schulz**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik

**Keywords:** Tiefe Geothermie, Fündigkeitsrisiko, hydrogeothermische Ressourcen, GIS

### **Zusammenfassung**

Das Geothermische Informationssystem für Deutschland (GeotIS) ist ein umfassendes Internet-basiertes System zur Recherche und Visualisierung von Daten, die für die Nutzung der tiefen Geothermie von Bedeutung sind. Der Nutzer hat Zugriff auf zwei Bereiche, die beide über die URL <http://www.geotis.de> zu erreichen sind: ‚Geothermische Standorte‘ und ‚Geothermische Potentiale‘. Im Bereich ‚Geothermische Standorte‘ können alle wichtigen Daten über bestehende oder sich im Bau befindliche geothermische Anlagen recherchiert werden. Im Bereich ‚Geothermische Potentiale‘ können Temperaturen, geologische Informationen und hydraulische Daten des tiefen Untergrunds abgefragt werden, die für eine hydrogeothermische Nutzung relevant sind. Diese Daten können auf sehr verschiedene Arten grafisch dargestellt werden und erlauben so eine erste Bewertung von möglichen neuen Geothermie-Standorten. Das System kann notwendige Machbarkeitsstudien, die einer Investitionsentscheidung voraus gehen, nicht ersetzen, liefert aber wichtige Grundlagen für diese.

Weitere Informationen, wie z. B. über vorhandene Tiefbohrungen, seismische Sektionen oder die Beschaffenheit eines Grundwasserleiters können ebenfalls interaktiv abgerufen werden. Zurzeit umfasst GeotIS die Gebiete Nordostdeutschland, das süddeutsche Molassebecken und den Oberrheingraben in Baden-Württemberg. Eine Erweiterung der Funktionsgebiete ist geplant.

Das Geothermische Informationssystem ist am Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in über dreijähriger Arbeit aufgebaut worden. Partner waren vier staatliche geologische Dienste – Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), München; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover; Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG), Güstrow und Regierungspräsidium Freiburg (RPF) – sowie die Arbeitsgruppe Hydrogeologie der Freien Universität (FU) Berlin und die Firma Geothermie Neubrandenburg GmbH (GTN).

### **1. Überblick**

Vor dem Hintergrund, den Anteil regenerativ erzeugter Energie an der Gesamtenergieversorgung der Bundesrepublik Deutschland in den nächsten Jahren auszubauen, hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) den Aufbau eines Geothermischen Informationssystems (GeotIS) im Zeitraum vom 1. September 2005 bis zum 31. Mai 2009 unter dem Förderkennzeichen: 0327542 gefördert. In einer zweiten Förderphase vom 1. Juni 2009 bis zum 31. Mai 2012 soll dieses Informationssystem zu einem internetbasierten Informationszentrum für geothermische Energienutzung ausgebaut werden.

Das Geothermische Informationssystem wurde unter Federführung des Leibniz-Instituts für Angewandte Geophysik (LIAG) mit Unterstützung des Wirtschaftsverbandes Erdöl- und Erdgasgewinnung (W.E.G.) umgesetzt. Projektpartner waren:

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), München;
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover;
- Regierungspräsidium Freiburg (RPF)
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG), Güstrow
- Arbeitsgruppe Hydrogeologie der Freien Universität (FU) Berlin
- Geothermie Neubrandenburg GmbH (GTN).

Das Geothermische Informationssystem für Deutschland (GeotIS) mit seinen zugrunde liegenden Informationen und Daten wird über das Internet präsentiert. Dadurch steht das Informationssystem mit seiner Oberfläche und Funktionalität den Nutzern frei und kostenlos zur Verfügung. Diese Darstellung hat gegenüber analogen Karten und Atlanten den Vorteil, dass der Anwender zur Bedienung des Systems nur einen aktuellen Browser benötigt und dass Dateninhalte sowie Systemfunktionalität stets aktuell zur Verfügung stehen. Ein RSS-Service hält die Nutzer über neue Funktionalitäten und Daten auf dem Laufenden. Trotz der vielen eingehenden Daten wird GeotIS aber keine lokale Machbarkeitsstudie ersetzen, da nicht alle Standort-spezifischen Details in eine automatisch generierte Darstellung einfließen können.

Das Informationssystem ist über die URL <http://www.geotis.de> zu erreichen. Der Zugang zu den Daten erfolgt in zwei getrennten Bereichen: ‚Geothermische Potenziale‘ und ‚Geothermische Standorte‘. Der Oberflächenaufbau beider Bereiche ist sowohl optisch als auch funktional größtmöglich identisch gehalten, um die Einheit des gesamten Systems zum Ausdruck zu bringen. Beide Bereiche bieten eine interaktive Karte einschließlich Referenzkarte und Legende, selektierbare Kartenebenen, Recherchemöglichkeiten und ein Informationsfenster zum Anzeigen von Objektdaten. Der Einsatz aktueller Softwarelösungen hilft dem Nutzer bei der Bedienung des Informationssystems und erlaubt ein zügiges Antwortverhalten.

Unter ‚Geothermische Standorte‘ können deutschlandweit alle bestehenden oder sich im Bau befindlichen geothermischen Anlagen mit deren Eigenschaften wie Zufluss-Teufe und Temperatur recherchiert und aufgelistet werden. Dieser Teil von GeotIS ist bereits seit Juni 2007 im Internet verfügbar. Der Bereich ‚Geothermische Potenziale‘ umfasst Informationen über den tiefen Untergrund einschließlich der für die geothermische Nutzung relevanten Parameter. Dieser Teil von GeotIS ist seit Ende Mai 2009 im Internet zu finden.

Tiefe Grundwasserleiter sind die Grundlage hydrogeothermischer Energiegewinnung. Um Aussagen über die hydrogeothermischen Ressourcen an einem Standort machen zu können, müssen die Eigenschaften der tiefen Grundwasserleiter möglichst genau abgeschätzt werden. In erster Linie geht es um zwei Fragen: wie heiß ist das Grundwasser und in welchen Mengen kann es gefördert werden? Letzteres, die Ergiebigkeit einer Förderbohrung, wird neben der eingesetzten Technik maßgeblich durch die hydraulischen Eigenschaften eines oder mehrerer Grundwasserleiter bestimmt. Untergrundtemperaturen, sowie die Mächtigkeit und hydraulischen Eigenschaften der Grundwasserleiter, sind daher die bestimmenden Größen für das Fündigkeitsrisiko.

Das Geothermische Informationssystem bietet im Bereich ‚Geothermische Potentiale‘ eine Vielzahl an Daten und Informationen, die für die hydrogeothermische Nutzung relevant sind: z. B., die Tiefenlage, Verbreitung und Temperatur relevanter Horizonte oder die Mächtigkeit von Grund-

wasserleitern. Weitere Aussagen über vorhandene Tiefbohrungen oder seismische Sektionen sowie zur hydraulischen Ergiebigkeit können interaktiv abgerufen werden. Umfangreiche mathematische Modellierungen der geologischen Strukturen und des Temperaturfeldes liefern dreidimensionale Untergrundraster. Zurzeit umfasst GeotIS Daten über hydrogeothermische Ressourcen in folgenden drei Regionen:

- Nordost-Deutschland
- Oberrheingraben
- Süddeutsches Molassebecken

Dies sind in Deutschland die aussichtsreichsten Gebiete für tiefe Geothermie. Im Rahmen der zweiten Förderphase ist unter anderem geplant, sowohl weitere Regionen als auch weitere Nutzungsarten (z. B. petrothermale Systeme) in GeotIS aufzunehmen. Darüber hinaus wird an einer steten Verbesserung der Benutzeroberfläche, der serverseitigen Software und den eingesetzten Struktur- und Temperaturmodellen gearbeitet. Dabei fließen selbstverständlich auch Verbesserungsvorschläge der Nutzer in die zukünftige Entwicklung ein.

## 2. Datengrundlage

### 2.1 Bohrungsdaten

Insgesamt sind in GeotIS Daten zu ca. 30.000 Bohrungen hinterlegt. Der überwiegende Teil der Bohrungen wurde im Rahmen der Kohlenwasserstoffexploration abgeteuft (ca. 27.000). Darüber hinaus sind Geothermie-, Thermal- und Mineralwasserbohrungen sowie Bohrungen des Bergbaus enthalten. Die Fachdaten dürfen in der Regel aus rechtlichen Gründen nur von Nutzungsberechtigten verwendet werden und in ihrer originären Form nicht nach außen weitergegeben werden. Die Datenhaltung muss dieser Anforderung gerecht werden, indem den Internet-Nutzern nur die Stammdaten der Bohrungen zugänglich gemacht werden, also beispielsweise Parameter wie Eigentümer und Endteufe. Weitere Bohrungsdetails stehen dem Nutzer nur in generalisierter, abgeleiteter bzw. anonymisierter Form zur Verfügung. Diese Anforderung wird durch eine strikte Trennung der Datenhaltung von Arbeits- und Präsentationsdaten erfüllt.

	Oberrheingraben	Molassebecken Baden-Württemberg	Molassebecken Bayern	NO-Deutschland
<b>Gesamtanzahl Teste</b>	<b>337</b>	<b>83</b>	<b>60</b>	<b>309</b>
<b>Transmissivität</b>	135	24	60	232
<b>T/H</b>	135	6	60	236
<b>Durchlässigkeitsbeiwert</b>	-	25	31	232
<b>Permeabilität</b>	37	-	59	302
<b>Transmissibilität</b>	37	-	59	255
<b>Produktivitätsindex</b>	151	-	52	221

Tab. 1: Aus hydraulischen Testen ermittelte Parameter, unterteilt nach den bearbeiteten Regionen.

## 2.2 Testdaten

Alle bekannten hydraulischen Teste aus den interessanten Horizonten wurden kompiliert, z. T. neu ausgewertet und tabellarisch erfasst. Damit liegt zum ersten Mal eine gesicherte und vollständige Datenbasis für die geothermisch relevanten Horizonte in Deutschland vor. In Tab. 1 sind die wichtigsten Parameter für die Beschreibung der hydraulischen Eigenschaften des Untergrundes sowie die Anzahl der Datensätze für jede Region aufgelistet.

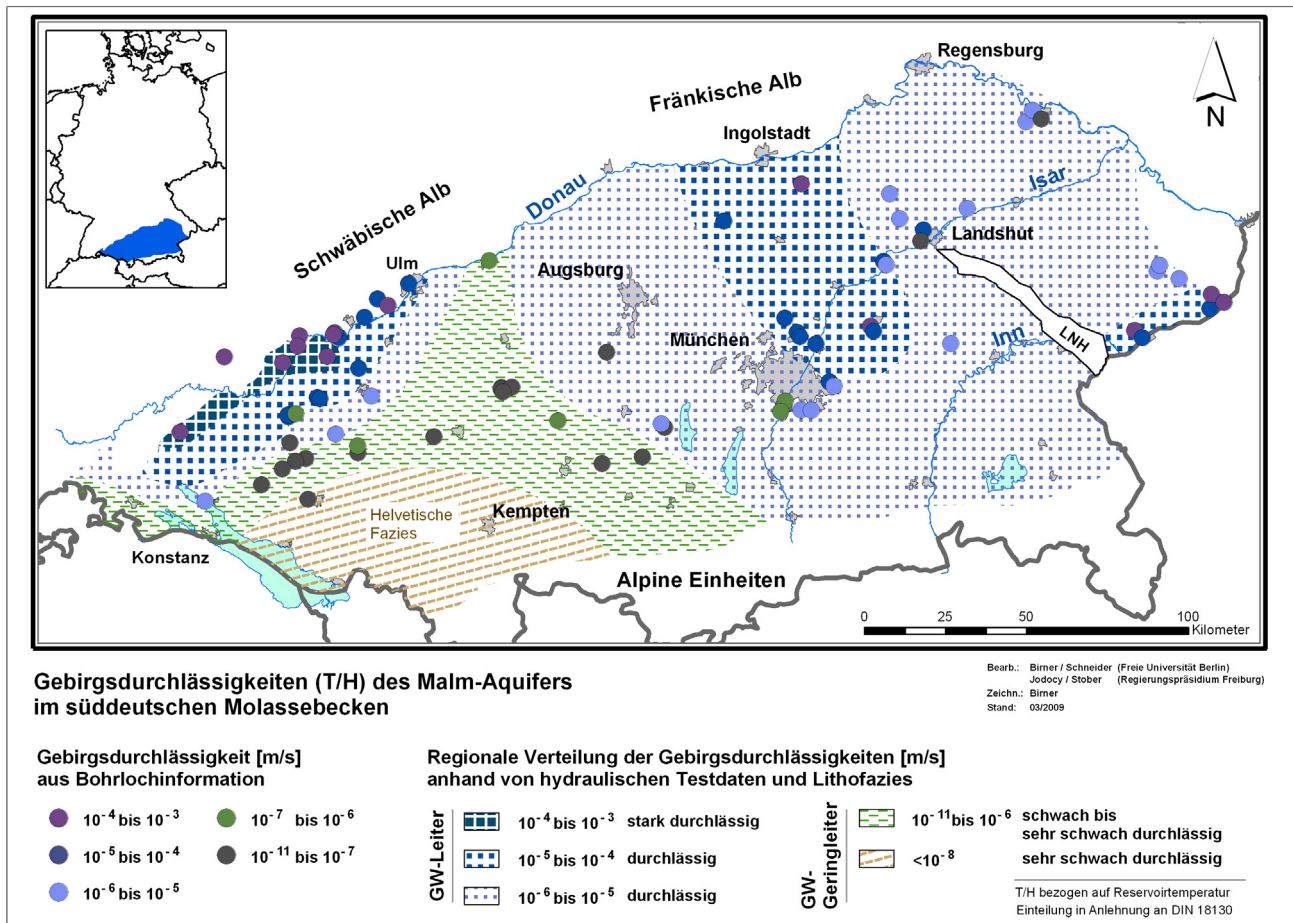


Abb. 1: Karte der Gebirgsdurchlässigkeit (T/H) im höheren Oberjura im süddeutschen Molassebecken, erstellt von BIRNER, JODOCY, SCHNEIDER & STOBER.

Da die Testlängen unter den betrachteten Bohrungen sehr unterschiedlich sind, können die ermittelten Transmissivitäten (T) nicht direkt miteinander verglichen werden. Für die Kartendarstellung (siehe Abb. 1) wurden sie daher mit der Länge der Teststrecke (H) normiert, d. h. in hydraulische Gebirgsdurchlässigkeiten in Form von T/H-Werten umgerechnet. In GeotIS kann diese Karte der Gebirgsdurchlässigkeiten im Oberjura (Malm) als zusätzliche Ebene im Kartenausschnitt eingeblendet werden.

## 2.3 Kerndaten

Die Datengrundlage der Porositäts- und Permeabilitätsdaten („PoroPerm“-Daten) stammt aus dem Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe (FIS KW) des LBEG (WIRTH 2007). Insgesamt wurden im FIS KW 396.884 Untersuchungen an 16.297 Kernen aus 2.549 Löchern mit 2.431 Ansätzen

aufgenommen. Bei 311.290 Kernen wurde die Porosität und die Permeabilität, bei 80.833 nur die Porosität und bei 4.761 nur die Permeabilität bestimmt. Der Großteil der Untersuchungen der KW-Industrie wurde im Zechstein und Rotliegenden durchgeführt. Die geothermisch relevanten Schichten sind im Vergleich zu diesen Schichten weniger untersucht worden, die Daten sind auch räumlich nicht gleichmäßig verteilt. Das Nordwestdeutsche Becken besitzt zum Beispiel im Dogger mit ca. 233 die meisten mit Daten versehenen Bohrlokationen aller in Frage kommenden Schichten. In allen anderen Schichten und Regionen stehen wesentlich weniger Daten zur Verfügung. Tab. 2 zeigt die Anzahl der verfügbaren PoroPerm-Daten pro Untersuchungsgebiet für die geothermisch relevanten Horizonte.

Gebiet	Anzahl		
	Porositätsdaten	Permeabilitätsdaten	Bohrungen
<b>Nordwestdeutsches Becken</b>	51.171	50.254	597
<b>Nordostdeutsches Becken</b>	873	855	49
<b>Süddeutsches Molassebecken</b>	1.506	1.502	34
<b>Oberrheingraben</b>	67	67	2

Tab. 2: Gesamtanzahl der Porositäts-, Permeabilitätsdaten und Anzahl der Bohrungen mit Daten pro Gebiet für alle geothermisch relevanten Schichten.

Es war vorgesehen, die vorhandenen Porositäts- und Permeabilitätsdaten nicht nur qualitativ (hohe Porosität/Permeabilität – niedrige Porosität/Permeabilität) zugänglich zu machen, sondern auch quantitativ. Aufgrund der Besitzrechte müssen die im Internet darzustellenden Daten so anonymisiert werden, dass die Nutzer keine Rückschlüsse auf einzelne Messwerte ziehen können. Die dazu vorgesehene Darstellungsform der Daten als Box-Whisker-Diagramme konnte bisher noch nicht realisiert werden (KUDER & SCHUMACHER 2009).

## 2.4 Temperaturdaten

Für die Erstellung der Temperaturmodelle wurden in erster Linie Daten aus dem Subsystem Geothermik des Fachinformationssystems (FIS) Geophysik am LIAG herangezogen (KÜHNE et al. 2003). Dieses Fachinformationssystem enthält Informationen über die Untergrundtemperatur aus ca. 10.000 Bohrungen. Ungestörte Temperaturlogs und Lagerstättentemperaturen werden als optimale Daten angesehen. Lagerstättentemperaturen liegen aufgrund der regelmäßigen, langjährigen Kontrolle der Förderbohrungen als umfangreiche Messwertreihen vor; die Schwankungsbreite dieser Temperaturwerte liegt überwiegend unter 1 K.

In die Berechnung der Temperaturmodelle gingen aber auch gestörte Temperaturlogs und sogenannte Bottom Hole Temperatures (BHT) ein. Diese BHT-Messungen werden in fast allen Industriebohrungen im Bohrlochtiefsten, unmittelbar nach Einstellen der Bohrarbeiten, ausgeführt und sind durch den Bohrvorgang (Spülungsumlauf) thermisch gestört. Eine Korrektur (Extrapolation) dieser BHT-Werte auf ungestörte Temperaturen ist möglich, da im Bohrlochtiefsten der störende Einfluss des Spülungsumlaufs auf das Temperaturfeld am geringsten ist. In Abhängigkeit von der Stillstandszeit nach Bohrende, der Spüldauer (Spülungsumlauf) und der Anzahl der für jede Tiefe zur Verfügung stehenden Temperaturwerte können unterschiedliche Extrapolationsverfahren angewendet werden (SCHULZ & SCHELLSCHMIDT 1991, SCHULZ et al. 1990). Tab. 3 gibt einen Überblick

über die regionale Verteilung aller Bohrungen, deren Temperaturmessungen in die Berechnung der Temperaturmodelle eingeflossen sind.

	NO-Deutschland	Molassebecken	Oberrheingraben
<b>Logs ungestört</b>	212	228	449
<b>Logs gestört</b>	242	154	263
<b>Bohrungen - BHT</b>	985	656	520
<b>Bohrungen - Teste</b>	441	74	184
<b>Lagerstätten</b>	286	-	-

Tab. 3: Übersicht der Bohrungsdaten mit Temperaturmessungen nach Region.

Für die oberflächennahe Bestimmung der Untergrundtemperatur wurden Daten über die Lufttemperatur vom Deutschen Wetterdienst (DWD 2006) verwendet. Aus den Temperaturreihen von 675 Wetterstationen des DWD wurden Mittelwerte über den Zeitraum 1961 – 1990 gebildet. Nach Auskunft des DWD stellen Mittelwerte der Lufttemperatur eine gute Näherung der Bodentemperaturen in einer Tiefe von 13 m dar. In dieser Tiefe kann die Temperatur als frei von jahreszeitlichen Schwankungen angesehen werden. Auf Grundlage dieser Lufttemperaturdaten wurde eine Bodentemperaturkarte mit einer Rasterweite von 100 m für Deutschland erstellt. Dabei wurde dem Einfluss der Geländehöhe auf die Temperatur durch die Verwendung eines Digitalen Höhenmodells Rechnung getragen.

Bisher wurde für Nordost-Deutschland, für den Oberrheingraben und für das süddeutsche Molassebecken jeweils ein Temperaturmodell bis in eine Tiefe von 5000 m unter NN berechnet. Dabei wurden alle Temperaturinformationen einer Region einer statistischen Analyse unterzogen und durch ein dreidimensionales Multigaussian Kriging unter Berücksichtigung des mittleren Temperaturgradienten (Universal Kriging) interpoliert. Zuvor wurden Einzelmessungen in der Tiefe in 100-m-Abständen linear bis zur Oberfläche interpoliert. Dies ist notwendig, um Artefakte wie negative Temperaturgradienten im Modell zu vermeiden. Darüber hinaus wurden ungenaue Messungen im 1-km-Umkreis von hochwertigen Messungen verworfen. Zuletzt wurde auf das berechnete Temperaturmodell noch das DSI-Verfahren von Gocad<sup>®</sup> (MALLET 2002) angewandt, um eine zusätzliche Glättung zu erreichen. Dabei wurden höherwertige Daten als Fixwerte definiert, so dass diese insgesamt ein größeres Gewicht im endgültigen Temperaturmodell erhalten.

Über die Varianz des Kriging-Schätzwertes kann die Aussagekraft des Temperaturmodells an jedem Ort bestimmt werden. Nur an Orten mit niedriger oder mittlerer Kriging-Varianz werden Untergrundtemperaturen in GeotIS dargestellt.

## 2.5 Strukturdaten

Die wichtigsten Regionen für eine hydrogeothermische Nutzung in Deutschland sind das Norddeutsche Becken, der Oberrheingraben und das Süddeutsche Molassebecken. Für diese drei Regionen wurden die für die hydrogeothermische Nutzung relevanten Horizonte ausgewählt (siehe Tab. 4).

Region	Horizont	Art
<b>Norddeutsches Becken</b>	Speicherkomplex Lias-Rät	porös
	Mittlerer Buntsandstein	klüftig-porös
	Unterkreide-Sandsteine	porös
	Dogger-Sandsteine	porös
	Keuper-Sandsteine	porös
<b>Oberrheingraben</b>	Oberer Muschelkalk	klüftig
	Buntsandstein	klüftig-porös
<b>Süddeutsches Molassebecken</b>	Oberer Jura (Malm)	karstig-klüftig

Tab. 4: Die wichtigsten Regionen und Horizonte für die hydrogeothermische Nutzung.

Die Datenlage der Strukturdaten, die für die Darstellung des Untergrundes in den ausgewählten Regionen in Deutschland notwendig sind, ist so verschieden, dass für die einzelnen Projektgebiete unterschiedliche Herangehensweisen erforderlich waren.

Vom Norddeutschen Becken wurde bisher nur der nordöstliche Teil bearbeitet. Für dieses Gebiet wurde auf die Kartenwerke „Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR“ (ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1988-1990) und „Geologische Grundlagen zur Geothermienutzung in Nordost-Deutschland“ (GESELLSCHAFT FÜR UMWELT- UND WIRTSCHAFTSGEOLOGIE 1992) als wichtigste Quellen für die Modellierung zurück gegriffen. Die darin enthaltenen Karten im Maßstab 1:200.000 bieten eine umfassende und genaue Darstellung der Basisflächen geothermisch relevanter mesozoischer Horizonte. Die Auswahl der Speicherhorizonte für GeotIS erfolgte durch das LUNG und GTN (FELDRAPPE et al. 2007). Die Kartenblätter mit den ausgewählten Speicherhorizonten im Projektgebiet wurden durch das LUNG gescannt, georeferenziert, vektorisiert und als ESRI-Shape-Dateien gespeichert. Auf dieser Grundlage wurden mit dem DSI-Verfahren der Gocad<sup>®</sup>-Software (MALLET 2002) triangulierte 3D-Basisflächen modelliert. Die Basisflächen wurden anschließend auf Übereinstimmung mit den Bohrprofilen geprüft und bei Abweichungen entsprechend korrigiert. Die Topflächen wurden auf der Grundlage der Verbreitungslinien und der Bohrprofile unter Berücksichtigung der geologischen Strukturen erstellt. Da über das Einfallen der Störungsflächen keine Informationen verfügbar waren, wurde in der Regel ein vertikaler Versatz konstruiert.

In Baden-Württemberg sind zwei Regionen für die tiefe Geothermie von Bedeutung: das Molassebecken im Südosten und der Oberrheingraben. Letzterer lässt sich aufgrund der starken Bruchtektonik nur schwer modellieren. Im Rahmen des Projekts wurden durch das RPF Industrie-seismiken gescannt, georeferenziert und vektorisiert, um daraus Profilschnitte zu konstruieren. Für das Oberrheingrabengebiet wurden 1031 seismische Sektionen und für das westliche Molassebecken 950 Sektionen bearbeitet. Für den Oberrheingraben in Baden-Württemberg sind auf Basis dieser Daten 18 geologische Querprofile im Abstand von 10 km und 6 Längsprofile konstruiert worden. Die Formationen des Oberen Muschelkalks und des Buntsandsteins sind im gesamten Grabengebiet für eine hydrogeothermische Nutzung aussichtsreich. Im südlichen Grabenabschnitt zwischen Basel und Kehl ist zusätzlich der Haupttrogenstein von hydrogeothermischer Bedeutung. Für das westliche Molassebecken wurden 7 Querprofile und 3 Längsprofile konstruiert. Durch die gleichmäßige Verteilung der Schnitte ist eine quasi-räumliche Modellvorstellung über den strukturellen Bau des Untergrundes und der Lage der potenziellen hydrogeothermischen

Nutzhorizonte auch im westlichen Molassebecken möglich. Der Malm (Oberjura) stellt mit hoher Wahrscheinlichkeit den ergiebigsten Horizont für die hydrogeothermische Nutzung dar. Neben dem Oberjura kann auch der tiefer liegende Obere Muschelkalk von Bedeutung sein (BERTLEFF et al. 1988, STÖBER & VILLINGER 1997).

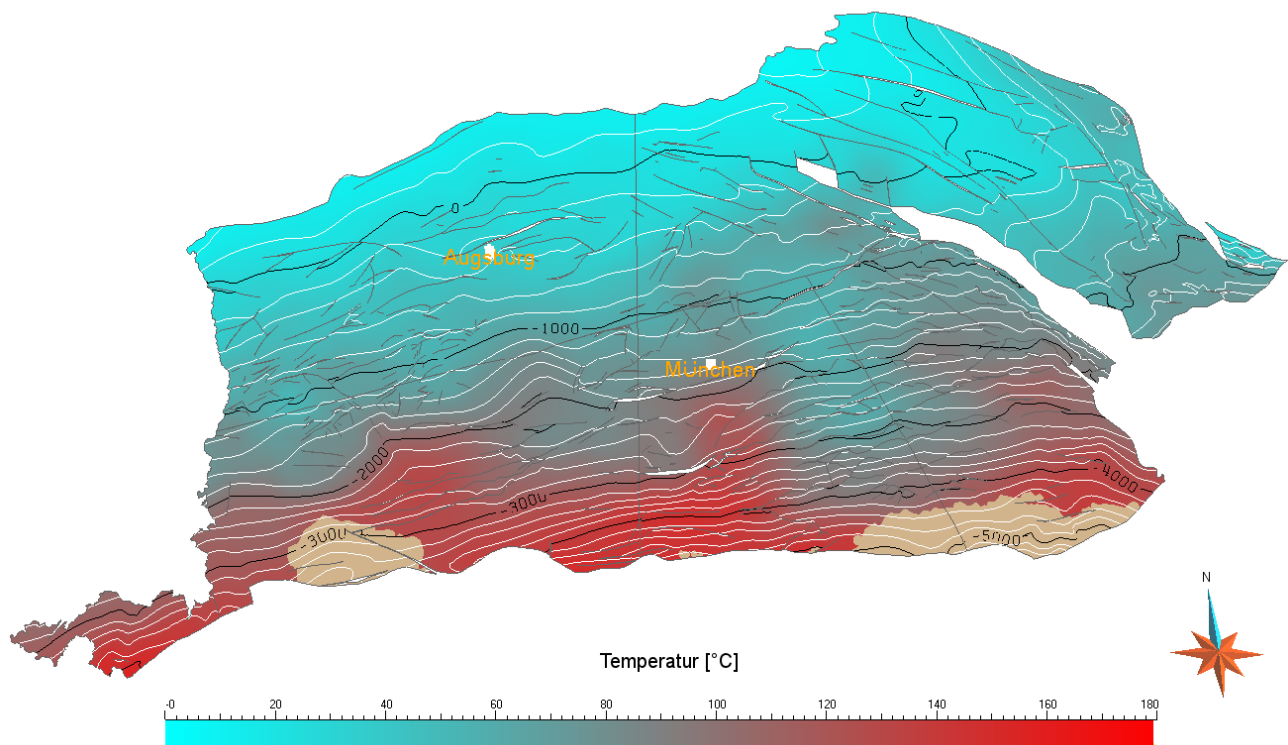


Abb. 2: Topfläche des Malms (Formation Purbeck in mNN) im Strukturmodell für das Bayerische Molassebecken mit der Untergrundtemperatur als Farbverlauf. Braune Bereiche sind ohne Temperaturwerte. Das Modell wurde aus fünf Teilen zusammengesetzt.

Im bayerischen Teil des süddeutschen Molassebeckens weisen die Karst-Formationen im Oberjura die besten Eigenschaften für eine geothermische Nutzung auf. Hydrostratigraphisch werden die Karbonate des Oberen Jura und die mit ihnen im hydraulischen Kontakt stehenden kreidezeitlichen Einheiten des Purbeck als Malm-Grundwasserleiter zusammengefasst (BAY. STWIVT, 2004). Für GeotIS wurde eine vorhandene, digitale Karte vom Landesamt für Umwelt in München im Maßstab 1:250.000 (BAY. STWIVT 2004) verwendet. Auf Grundlage dieser Karte wurde mit dem Programm Gocad® ein 3D-Modell erstellt (siehe Abb. 2). Da die Basis des Malms nicht flächendeckend bekannt ist, konnte nur die Topfläche modelliert werden. Wie für Nordost-Deutschland wurden auch hier die Störungen als vertikale Versatzflächen modelliert.



### 3. Technische Umsetzung

#### 3.1 Software

Die Oberflächen der Informationssysteme sind weitestgehend über HTML (Hypertext Markup Language) und die serverseitigen Scriptsprachen PHP (PHP: Hypertext Preprocessor) und JSP (Java Server Pages) erstellt. HTML- und PHP-Dateien bestimmen dabei den Aufbau der Karte und der Navigation, die Objektselektionen und Recherchemöglichkeiten sowie die Darstellungen von tabellarischen Daten und Grafiken. Für die Oberflächen zur interaktiven Erzeugung der geologischen Schnitte und deren Funktionalitäten kommt JSP zum Einsatz. Das Design der Oberflächen bestimmen Cascading Style Sheets (CSS).

Für die Generierung einer interaktiven Karte als zentrales Bedienungs- und Anzeigeelement wird der freie UMN-MapServer eingesetzt. Für den Einsatz im Kontext mit Scriptsprachen sind die Funktionalitäten des UMN-MapServers in einer Objektbibliothek zusammengefasst und können damit über PHP-MapScript angesprochen werden.

Clientseitige Benutzeraktivitäten wie Zugriffe und Modifizierung des Document Object Models (DOM) und die Nutzung graphischer Objekte wurden mithilfe der Scriptsprache JavaScript realisiert. Es wurde Wert darauf gelegt, gleichartige Funktionen zu bündeln und in separaten Dateien zu speichern.

Als zentrales Datenbanksystem wird der SQL-Server von Microsoft eingesetzt. Datenbanktabellen- und Dateizugriffe erfolgen über die Programmiersprachen PHP und Java sowie der Datenbanksprache Structured Query Language (SQL). Die ausgewählten Daten werden ggf. modifiziert und in Tabellen und Tooltips dargestellt, durch spezielle Algorithmen zu Diagrammen und Grafiken verarbeitet oder zum Abgleich von Objekten in Dateien benutzt. Das Erstellen von Kartenbildern (Topographie, Standorte) übernimmt PHP-MapScript. Über „Virtual Spatial Data“ der OGR-Extension kann der UMN-MapServer on-the-fly eine Verbindung zum SQL-Server aufbauen. Tasks, im Zusammenspiel mit PHP-Skripten, transferieren täglich Daten aus der Datenbank in Shapefiles und halten diese stets aktuell. Außerdem wird eine tägliche Aufräumroutine für temporäre Dateien und das Füllen des Caches des SQL-Servers über Tasks realisiert.

Die AJAX-Schnittstelle setzt ein Konzept der asynchronen Datenübertragung zwischen einem Server und einem Browser um, über das Abfragen durchgeführt werden können, ohne die gegenwärtige Seite komplett neu laden zu müssen. Diese Vorgehensweise verbessert die Performance erheblich. Sie wird in beiden Bereichen von GeotIS eingesetzt und durch JavaScript-PHP bzw. Direct Web Remoting (DWR) realisiert. Zum Einsatz kommt die Technologie insbesondere beim Aktualisieren von Oberflächenobjekten, der Recherche nach Objekten oder beim Ändern des Inhalts der geologischen Karten.

Neben der Darstellung und Präsentation von Daten beinhalten beide Systeme die Möglichkeiten zum Erstellen von benutzerspezifischen Abfragen und zum Exportieren von Daten. Zum einen können Karten und beschreibende Daten gemeinsam als PDF-Dokument exportiert werden, zum anderen werden im Bereich ‚Geothermische Standorte‘ Geoobjekte in Google Earth® / Google Maps®-kompatiblen KML-Dateien gespeichert.

Als Webserver für das Informationssystem kommen sowohl der IIS (Internet Information Services) der Fa. Microsoft als auch Apache als Open-Source-Werkzeug zum Einsatz. Beide Webserver bieten eine Plattform zum Bereitstellen von Dokumenten und Dateien im Intranet und Internet. Die Skripte werden während des Aufrufs serverseitig interpretiert. Die Ergebnisse werden als HTML-

Dokumente an den Client übertragen. Dabei werden die dynamischen Objekte beim Aufruf aus verschiedenen Quellen zusammengestellt.

Der Apache Tomcat stellt eine Umgebung zur Ausführung von Java-Code auf Webservern bereit, das Frontend bilden dabei Servlets und Java Server Pages. Diese Technologie wird speziell für die Erstellung der geologischen Oberflächen und Schnitte verwendet.

### **3.2 Bereich ‚Geothermische Standorte‘**

Der Bereich ‚Geothermische Standorte‘ dient der Darstellung und Suche von geothermischen Anlagen in Deutschland und deren Metadaten. Die Oberfläche des Systems beinhaltet eine Buttonleiste mit unterschiedlichen Funktionalitäten, ein Kartenfenster zur Darstellung u. a. von Standorten und topographischen Daten, eine Legende und einen Navigationsbaum für die darzustellenden Ebenen, verschiedene Filter (Temperatur, Teufe, Fließrate usw.) zum Selektieren der Standorte und ein Informationsfenster zur Anzeige von Metadaten der einzelnen Objekte.

Die Navigation in der Karte wie das Zoomen, Verschieben und Zentrieren gleicht der Handhabung in gängigen GIS-Systemen. Der Nutzer kann die Darstellung der Karte nach eigenem Bedarf modifizieren, indem er für ihn relevante Objekte ein- oder ausblendet.

Die Darstellung der einzelnen Standorte kann durch verschiedene Filter beschränkt werden. Hierbei stehen dem Nutzer drei Möglichkeiten zur Verfügung: die räumliche, die thematische und die gekoppelte Filterung. Die erste zeigt nur die Standorte in einem ausgewählten geographischen Bereich an. Bei der zweiten Möglichkeit werden nur die Standorte angezeigt, deren Metadaten von den Filterwerten (Teufe, Temperatur usw.) nicht eingeschränkt wurden. Im dritten Fall ergänzen sich beide. Zu jedem dargestellten Standort wird ein Datensatz im Infofenster angezeigt.

Die Darstellung der geothermisch relevanten Daten oder die ausführliche Anzeige aller Daten von Standorten werden in tabellarischer Form angezeigt. Statistiken über Produktionsdaten der geothermischen Standorte werden zudem graphisch präsentiert und können durch verschiedene Möglichkeiten (z. B. Gesamtdeutschland oder ausgewähltes Bundesland) räumlich und/oder über Kriterien eingegrenzt werden.

Recherchierte Standorte können im KML-Format exportiert werden. Nachdem der Nutzer den gewünschten Kartenausschnitt erstellt hat, kann die Datei mit den Koordinaten zu den einzelnen Standorten abgespeichert bzw. sowohl im Google Maps<sup>®</sup> Kartenservice als auch in Google Earth<sup>®</sup> betrachtet werden. Zur Dokumenterstellung und der Möglichkeit des Ausdrucks der Karte, der Legende und der tabellarischen Informationen steht der PDF-Export zur Verfügung.

Die Suche nach geothermischen Standorten bzw. nach Gemeinden über den Namen des Objekts wird ebenfalls vom Informationssystem unterstützt, indem die Karte nach Eingabe des Objekt-namens auf den jeweiligen Standort bzw. die Gemeinde zoomt.

Neben der Darstellung von geothermischen Standorten liefert das System weitere Informationen von geothermischer Relevanz. Dazu gehören Fachdaten wie thematische Karten mit der Möglichkeit zum Filtern wie auch Konzessionsgebiete in einigen Bundesländern.

### **3.3 Bereich ‚Geothermische Potentiale‘**

Der Bereich ‚Geothermische Potentiale‘ bietet Nutzern eine Zusammenstellung von Daten und Informationen über tiefe Grundwasserleiter in Deutschland, die für eine geothermische Nutzung in

Frage kommen. Die Oberfläche des Systems gleicht auf den ersten Blick dem Verzeichnis geothermischer Standorte, inhaltlich liegt der Schwerpunkt aber auf der Darstellung von Bohrungen, Grundwasserleitern (stratigraphischen Einheiten) und physikalischen Parametern.

Die Suche nach Bohrungen bzw. nach Gemeinden gleicht dem des Verzeichnisses geothermischer Standorte. Neben der Darstellung von Bohrungen und geologischen Schnitten liefert das System weitere relevante Objekte und Fachdaten wie seismische Profillinien und statische Vertikalschnitte. Die Darstellung einzelner Bohrungen kann durch verschiedene Filter eingeschränkt werden. Hierbei stehen dem Nutzer zwei Möglichkeiten zur Verfügung: die räumliche und die thematische Filterung. Die erste zeigt nur die Bohrungen in einem ausgewählten geographischen Bereich an. Bei der zweiten Möglichkeit werden nur die Standorte angezeigt, deren Teufen vom Filterwert nicht eingeschränkt werden. Diese Methoden können auch miteinander kombiniert werden. Zu jeder dargestellten Bohrung wird ein Datensatz im Infofenster angezeigt.

Außerdem gibt es drei gekennzeichnete Funktionsgebiete (Nordostdeutschland, Oberrheingraben und Molassebecken), in denen Schnitte oder Horizonte angezeigt werden können. Das Erstellen eines Vertikalschnitts erfolgt durch Aufziehen einer Linie auf der Karte; das Erzeugen eines Horizontalschnitts, einer Tiefenlinienkarte (Top- oder Basisfläche eines ausgewählten Horizonts, ggf. mit überlagerten Temperaturen) und der Bodentemperaturkarte geschieht durch Aufziehen eines Rechtecks nach Auswahl des entsprechenden Tools in der oberen Menüleiste. Die entsprechenden Abbildungen werden serverseitig durch Java-Routinen erzeugt. Als Grundlage dienen dabei Raster- und Vektordaten, die zum größten Teil aus einer Datenbank abgerufen werden. Die stratigraphischen Basis- und Topflächen wurden als 2½D-Flächen angelegt, die Rasterpunkte besitzen lateral einen Abstand von 100 m. Das Gleiche gilt für die deutschlandweit verfügbare Bodentemperaturkarte. Für die Darstellung horizontaler Schnitte wurde auch ein 3D-Raster der Untergrundstruktur angelegt. Hier beträgt der Punktabstand in allen drei Raumrichtungen 100 m. Die Temperaturmodelle des Untergrunds sind ebenfalls als 3D-Raster angelegt, wobei hier die laterale Rasterweite 2000 m beträgt. Für eine schnellere Darstellung größerer Gebiete ist geplant, optional ein Raster mit größeren Rasterweiten zu verwenden.

## Quellenangaben

BAY. STWIVT (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE) [HRSG.] (2004): Bayerischer Geothermieatlas. - 104 S., München.

BERTLEFF, B., JOACHIM, H., KOZIOROWSKI, G., LEIBER, J., OHMERT, W., PRESTEL, R., STOBER, I., STRAYLE, G., VILLINGER, E. & WERNER, J. (1988): Ergebnisse der Hydrogeothermiebohrungen in Baden-Württemberg. – Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 30: 27-116, Freiburg i. Br.

DWD (2006): Download (April 2006) der Mittelwerte der Temperatur für den Zeitraum 1961-1990. - Offenbach (Deutscher Wetterdienst); <http://www.dwd.de>.

Feldrappe, H., Obst, K. & Wolfgramm, M. (2007): Evaluation of sandstone aquifers of the North German Basin: a contribution to the „Geothermal Information System of Germany“. - Proceedings European Geothermal Congress 2007, 30.05.–01.06.2007, Paper 248: 8 p; Unterhaching, Germany.

GESELLSCHAFT FÜR UMWELT- UND WIRTSCHAFTSGEOLOGIE (1992): Geologische Grundlagen für die Geothermienutzung in Nordost-Deutschland (Kartenwerk 1:200.000) – Berlin.

KUDER, J. & SCHUMACHER, S. (2009): Porositäts- und Permeabilitätsdaten und deren Nutzung im GeotIS-Projekt. - LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 0128191; Hannover.

KÜHNE, K., MAUL, A.-A. & GORLING, L. (2003): Aufbau eines Fachinformationssystems Geophysik. – Z. Angew. Geol., 2/2003: 48-53; Hannover.

MALLET, J. L. (2002): Geomodeling. –New York (Oxford University Press).

SCHULZ, R., HÄNEL, R. & WERNER, K. H. (1990): Geothermische Ressourcen und Re-serven: Weiterführung und Verbesserung der Temperaturdatensammlung. – Report EUR 11998 DE: 75 pp; Luxembourg (Office for Official Publications of the European Communities).

SCHULZ, R. & SCHELLSCHMIDT, R. (1991): Das Temperaturfeld im südlichen Ober-rheingraben. – Geol. Jb., E48: 153-165; Hannover.

STOBER, I. & VILLINGER, E. (1997): Hydraulisches Potential und Durchlässigkeit des höheren Oberjuras und des Oberen Muschelkalks unter dem baden-württembergischen Molassebecken. – Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 37: 77-96, Freiburg i. Br.

WIRTH, W. (2007): Porositäts- und Permeabilitätsdaten aus Bohrkernanalysen in der KW-Datenbank des LBEG – Datenbestand. - GGA-Bericht, Archiv-Nr. 0126992, 11.05.2007; Hannover.

ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT (1988-1990): Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR (1:200.000). – Berlin.

Dr. T. Agemar, LIAG, Sektion Geothermik und Informationssysteme, Stilleweg 2, 30655 Hannover  
thorsten.agemar@liag-hannover.de