

Aufbau eines geothermischen Informationssystems für Deutschland

Development of an Internet Based Geothermal Information System for Germany

Von R. SCHULZ, T. AGEMAR, J.-A. ALTEN, K. KÜHNE, A.-A. MAUL, S. PESTER und W. WIRTH*

Abstract

The Leibniz Institute for Applied Geosciences (GGA-Institut) is setting up an internet based information system on geothermal resources in close collaboration with partners. For a start, the geothermal information system will contain data about hydrogeothermal resources only. The project aims at an improvement of quality in the planning of geothermal plants and at a minimization of exploration risks. The key parameters for this purpose are production rate (Q) and temperature (T). The basis for the estimation of subsurface hydraulic properties comes from the information system on hydrocarbons. This information system provides permeability and porosity values derived from the analyses of drilling cores. The IT targets will be realised by a relational database providing all data relevant to the project. A 3D model of the ground provides the basis for visualisation and calculation of geothermal resources. As a prototype, a data-recall facility of geothermal sites in Germany is available online.

Kurzfassung

Ein Internet basiertes Informationssystem für tiefe Geothermie wird zurzeit am GGA-Institut in Zusammenarbeit mit Projektpartnern aufgebaut. Zunächst wird das geothermische Informationssystem nur Daten über hydrogeothermische Ressourcen enthalten. Das Ziel des Projektes ist die Qualitätsverbesserung bei der Projektierung geothermischer Anlagen und die Minimierung des Fündigkeitsrisikos. Die dafür entscheidenden Parameter sind die Fördermenge Q und die Temperatur T . Als eine Grundlage für die Beschreibung der hydraulischen Eigenschaften des Untergrundes liefert das Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe Permeabilitäts- und Porositätswerte aus Bohrkernuntersuchungen. Für die Umsetzung der Aufgaben im EDV-Bereich wird eine relationale Datenbank mit allen projektrelevanten

Daten entstehen; Raummodelle werden als Grundlage für die Visualisierung und die Berechnungen von geothermischen Ressourcen erstellt. Als Prototyp steht eine Internet-Recherche für das Verzeichnis geothermischer Standorte in Deutschland zur Verfügung.

1 Einleitung

1.1 Geothermische Energie als heimische Energiequelle

Die geothermische Energie nimmt unter den regenerativen Energiequellen eine Sonderstellung ein: Es ist die einzige Geo-Energie; sie steht ganzjährig und zu jeder Tageszeit zur Verfügung und kann daher im Grundlastbereich sowohl in der Wärme- wie in der Stromerzeugung eingesetzt werden. Geothermische Energie (synonym Erdwärme oder Geothermie) ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde [10]. Genutzt werden kann sie ganz unterschiedlich. Bei der oberflächennahen Geothermie wird die Energie dem oberflächennahen Bereich der Erde (meist bis 150 m, max. bis 400 m Tiefe) entzogen, z. B. mit Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Grundwasserbohrungen oder Energiepfählen; eine energetische Nutzung ist in der Regel nur mit Wärmepumpen möglich. In der tiefen Geothermie wird die geothermische Energie über Tiefbohrungen erschlossen und meist direkt, d. h. ohne Niveauehebung, genutzt. Die in tiefen Aquiferen gespeicherten heißen ($>100\text{ °C}$), warmen ($60\text{--}100\text{ °C}$) oder thermalen ($>20\text{ °C}$) Wässer werden meist direkt (ggf. über Wärmetauscher) zur Speisung von Nah- und Fernwärmenetzen, für landwirtschaftliche, industrielle oder balneologische Zwecke genutzt. Moderne Wandlungstechniken, wie ORC-Verfahren und Kalina-Zyklus, ermöglichen heute die wirtschaftliche Stromerzeugung bei Temperaturen ab 100 °C . Damit wird die geothermische Stromerzeugung auch für »normale« geothermische Regionen wie Mitteleuropa interessant. Erste Erfahrungen für die Stromerzeugung liegen aus den drei geothermischen Kraftwerken in Neustadt-Glewe (Mecklenburg-Vorpommern), Altheim (Oberösterreich) und Blumau (Steiermark) vor. Weitere Anlagen befinden sich in der Bauphase.

Um die Zukunftschancen einer geothermischen Stromerzeugung in Deutschland einzuschätzen, hat das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) im Jahr 2003 ein Gutachten vorgelegt [6]. Drei Reservoirtypen – Heißwasseraquifere, Störungen und kristalline Gesteine – wurden als nutzbar eingestuft. Allein für die Heißwasseraquifere, dem Reservoir mit dem geringsten Potenzial, liegt nach dem TAB-Bericht das Strompotenzial in Deutschland bei 9 EJ; das Wärmepotenzial bei der Kraft-Wärme-Kopplung beläuft sich auf 23 EJ.

Während sich für die geothermische Nutzung der tiefen Aquifere – nicht zuletzt aufgrund des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) – eine Wirtschaftsbranche entwickelt, sind in anderen Bereichen der tiefen Geothermie noch weitere FuE-Maßnahmen notwendig. Bei der Nutzung von Störungszonen fehlen noch gesicherte Angaben über die Größenordnung der hydraulischen Kennwerte. Die Nutzung der überwiegend im Gestein gespeicherten Energie mittels der Hot-Dry-Rock-Technik (HDR), umfassender auch als Enhanced Geothermal Systems (EGS) bezeichnet, befindet sich noch in der Phase der Demonstrationsanlagen (z. B. Pilotprojekt Soultz-sous-Forêts im Elsass).

1.2 Förderung der Geothermie durch die Bundesregierung

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil regenerativ erzeugter Energie an der Gesamtenergieversorgung der Bundesrepublik Deutschland in den nächsten Jahren auszubauen. Vor diesem Hintergrund fördert das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Rahmen des 5. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen auch im Bereich der tiefen Geothermie. Ziel der Förderung ist es, die kostengünstige Gewinnung und Nutzung von Wärme und Strom aus geothermischen Reservoiren fortzuentwickeln. Großen Einfluss auf die Kosten haben u. a. die Exploration und Erbohrung der Reservoire, die Optimierung der dauerhaften Reservoirnutzung und die effektive Energiewandlung. Gegenstand der

* R. Schulz, T. Agemar, J.-A. Alten, K. Kühne, A.-A. Maul, S. Pester, W. Wirth, Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), Hannover (E-mail: ruediger.schulz@gga-hannover.de)

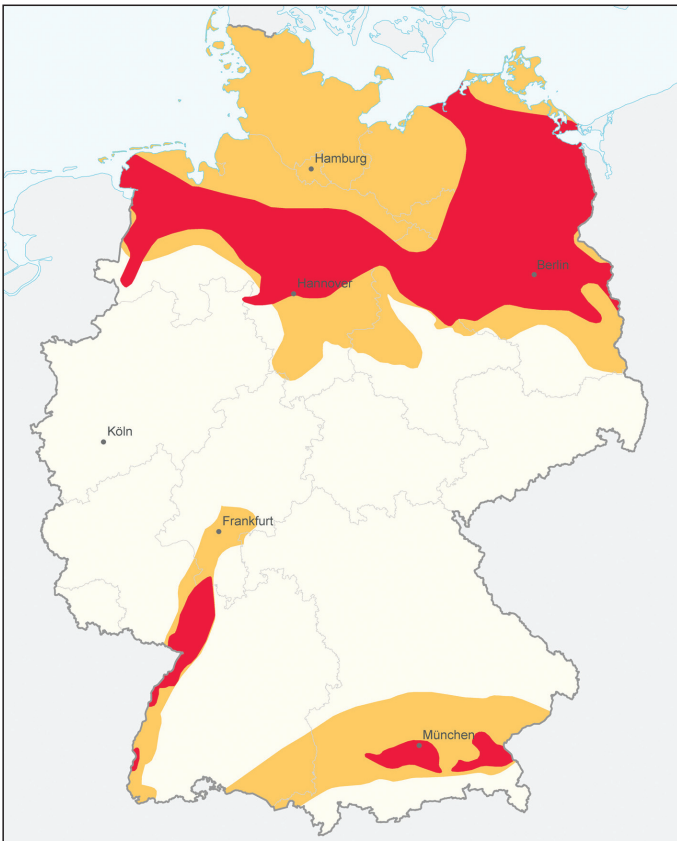


Abb. 1 Übersicht über Gebiete, die für hydrogeothermische Nutzung möglicherweise geeignet sind: Regionen mit Aquiferen, deren Temperatur über 100 °C (rot), bzw. über 60 °C (gelb) beträgt; 100 °C ist für eine Stromerzeugung, 60 °C für die direkte Wärmenutzung erforderlich

Förderung ist z. B. die Entwicklung von Methoden und Verfahren, die im Zuge der Exploration das Fündigkeitsrisiko für Bohrungen vermindern.

1.3 Das Projekt

Unter den genannten Gesichtspunkten wird auch das Vorhaben »Aufbau eines geothermischen Informationssystems für Deutschland« (GeotIS) vom BMU gefördert. Das System basiert auf Daten über tiefe, für geothermische Nutzung geeignete Aquifere. Es soll einen Beitrag zur Qualitätsverbesserung bei der Projektierung von geothermischen Anlagen leisten, indem es einen ersten Überblick über die zur Bestimmung von Fündigkeitsrisiken entscheidenden Parameter Aquifertemperatur und -ergiebigkeit liefert. Konkrete, standortspezifische Fündigkeitsanalysen bleiben jedoch lokalen Machbarkeitsstudien vorbehalten.

Der Wunsch nach einer umfassenden, weitgehend maßstabsunabhängigen und stets aktualisierten Form eines geothermischen »Atlases« kann nur durch ein digitales Informationssystem erfüllt werden. Dies wird ein dynamisches System sein, das neben meist unveränderlichen geowissenschaftlichen Basisdaten auch aktuelle Erkenntnisse und Ergebnisse enthält und ständig ergänzt wird. Es muss über das Internet verfügbar sein und sollte die notwendigen Datenbanken und Fachinformationssysteme vernetzen, wobei die Eigentumsrechte an den Daten gewahrt werden müssen.

Tabelle 1 Wichtigste Regionen und Horizonte für hydrogeothermische Nutzung

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

Das Projekt wird unter Federführung des Instituts für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA-Institut), Hannover, mit Unterstützung des Wirtschaftsverbandes Erdöl- und Erdgasgewinnung (WEG) umgesetzt. Projektpartner sind:

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), München
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover
- Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (LGRB), Freiburg
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG), Güstrow
- Freie Universität Berlin (FU), Arbeitsgruppe Hydrogeologie
- Geothermie Neubrandenburg GmbH (GTN).

2 Geothermische Regionen und Horizonte

Die wichtigsten Regionen für eine hydrogeothermische Nutzung in Deutschland sind das Norddeutsche Becken, der Oberrheingraben und das Süddeutsche Molassebecken (Abb. 1). Für diese drei Regionen wurden die für die geothermische Nutzung relevanten Horizonte ausgewählt (Tab. 1). Für eine geothermische Stromproduktion muss in den Aquiferen eine Temperatur von über 100 °C herrschen. Die dafür in Deutschland in Frage kommenden Gebiete sind in Abb. 1 rot dargestellt. Für die direkte Wärmeenergiegewinnung sind Temperaturen über 60 °C erforderlich; die entsprechenden Regionen sind gelb unterlegt. Über die angegebenen Bereiche hinaus existieren noch weitere Aquifere und Regionen mit Voraussetzungen für eine geothermische Wärmeenergiegewinnung, z. B. das Thüringer Becken, oder für die Stromerzeugung, z. B. Gebiete in

Schleswig-Holstein. Da dort die Potenziale aber gering sind, sollen sie erst in einem zweiten Schritt in das geothermische Informationssystem eingefügt werden.

3 Das Fündigkeitsrisiko

Die Nutzung geothermischer Energie zeichnet sich durch geringe Betriebskosten, aber hohe Investitionskosten vor allem wegen der Bohrungen aus. Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Bohrungen nicht den gewünschten Erfolg bringen, versuchen Investoren und Projektbetreiber das Fündigkeitsrisiko abzuschätzen und ggf. zu versichern. Deshalb muss das Fündigkeitsrisiko genau definiert werden, um dann zu versuchen, die Erfolgswahrscheinlichkeit eines Projektes zu quantifizieren.

Das Fündigkeitsrisiko ist das Risiko, ein geothermisches Reservoir mit einer (oder mehreren) Bohrung(en) in nicht ausreichender Quantität oder Qualität zu erschließen.

Die Quantität wird dabei über die installierbare Leistung einer geothermischen Anlage definiert:

$$P = \rho_f \cdot c_f \cdot Q \cdot (T_i - T_o)$$

- P Leistung, W
- ρ_f Dichte des Fluids, kg m⁻³
- c_f (isobare) spezifische Wärmekapazität, J kg⁻¹ K⁻¹
- Q Volumenstrom, Förderrate, m³ s⁻¹
- T_i, T_o (Input- bzw. Output-) Temperatur, K oder °C.

Unter Qualität versteht man im Wesentlichen die Zusammensetzung (Chemismus) des Fluids. Alle bisher bei geothermischen Bohrungen in Deutschland angetroffenen Wässer galten hinsichtlich ihrer Zusammensetzung für geothermische Nutzung, zwar mit unterschiedlichem technischen Aufwand, als beherrschbar.

Die entscheidenden Parameter für das Fündigkeitsrisiko sind die Fördermenge Q und die Temperatur T_i, womit die Temperatur am Bohrlochkopf gemeint ist; sie hängt entscheidend von der Temperatur T_A im Aquifer ab. Allgemein ist T_i eine Funktion von der Fördermenge Q, der Lagerstättentemperatur T_A und der Förderzeit Δt . Bei lang andauernder Förderung mit hohen Förderraten

gleicht sich die Bohrlochkopftemperatur der Lagerstättentemperatur an, der Unterschied ist dann vernachlässigbar. Im Wesentlichen ergibt sich damit folgender Zusammenhang:

$$P \approx Q \cdot T_A$$

Zur Bestimmung des Fündigkeitsrisikos müssen vom Projektbetreiber Grenzwerte für T_A und Q definiert werden, ab denen eine Bohrung als fündig gilt. Es wird dann die Wahrscheinlichkeit ermittelt, mit der diese Werte am Untersuchungsstandort erreicht werden [7]. Da T_A und Q die entscheidenden Parameter der Risikoanalyse sind, wird das Hauptziel des geothermischen Informationssystems sein, Aussagen über diese beiden Parameter zu liefern.

Nicht durch das Fündigkeitsrisiko abgedeckt wird übrigens die »Nachhaltigkeit«, d. h. die dauerhaft ausreichende Energieabgabe; diese ist Teil des Betriebsrisikos:

$$E = P \cdot \Delta t$$

E	Energie, J
P	Leistung, wie oben definiert, W
Δt	Zeitdauer der Förderung, s.

Zusätzlich existieren weitere Risiken, z. B. das Bohrrisiko, das alle technischen Risiken, die die Bohranlage und den Bohrprozess betreffen, umfasst.

4 Daten

Die in das Informationssystem aufzunehmenden Daten stammen aus sehr unterschiedlichen Datenquellen und müssen deshalb homogenisiert und hinsichtlich ihrer Qualität überprüft werden. Temperaturdaten und hydraulischen Kennwerte, die für eine Fündigkeitsvorhersage benötigt werden, sind Daten, die in Tiefbohrungen gemessen werden und deshalb eindeutig der jeweiligen Bohrung zugeordnet werden müssen.

4.1 Bohrungen und geologische Profile

Stamm- und Abweichdaten von Tiefbohrungen werden für vielfältige Zwecke benötigt, u. a. als Referenz für Messdaten und für die Umrechnung von Teufen in Saigerteufen. Geologische Profile, insbesondere die Stratigraphie, dienen zum Selektieren der zu den Zielhorizonten gehörenden hydraulischen Werte sowie zum Abgleich von Verbreitungskarten.

Die wesentlichste Datenquelle für Tiefbohrungen und deren geologische Profile ist das Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe (FIS KW) des LBEG. Dieses enthält derzeit ca. 22.000 geologische Profile aus ca. 11.000 Tiefbohrungen in Deutschland. Für das Gebiet der neuen Bundesländer ist der »Hauptspeicher Bohrungsdaten« die wichtigste Datenquelle. Dieser von der Firma Erdgas Erdöl GmbH verwaltete Datenbestand umfasst die KW-Bohrungen der ehemaligen DDR und enthält neben ca.

2.500 Bohrungen mit ca. 2.000 geologischen Profilen auch zahlreiche Daten aus Kernuntersuchungen. Als Datenquellen für Nicht-KW-Tiefbohrungen (z. B. Thermalwasserbohrungen) sind die Bohrungsdatenbanken der Staatlichen Geologischen Dienste zu erwähnen.

Die Vielfalt der verwendeten Datenbestände und deren unterschiedliche Bearbeitungsstände, Strukturen und Nomenklaturen erforderte aufwändige Maßnahmen zur Aufbereitung, Homogenisierung und Qualitätssicherung, z. B.:

- Umrechnung von Abweichdaten in eine einheitliche Darstellungsweise durch Angabe von Messtiefe, Neigung und Azimut
- Umformung geologischer Profile in ein einheitliches, gut recherchier- und verarbeitbares Zielformat
- Vereinheitlichung geologischer Nomenklaturen mit dem ATS-Schlüssel der deutschen Kohlenwasserstoffindustrie als Zielschlüssel für stratigraphische, lithologische und tektonische Angaben
- Vereinheitlichung komplexer Beschreibungselemente, wie der Angabe von Schichtpaketen oder -intervallen, bei der Darstellung der Profile
- Vereinheitlichung der Maßeinheiten und Bezugssysteme (z. B. Umrechnung von Teufen in Saigerteufen)
- Umrechnung der Bohrungskoordinaten in ein einheitliches System (DHDN-Potsdam in Gauß-Krüger-Projektion).

4.2 Temperaturdaten

Beim GGA-Institut wird das Fachinformationssystem (FIS) Geophysik betrieben [3, 4]. Es enthält Messdaten und Auswertungen verschiedener geophysikalischer Verfahren, vorrangig für das Gebiet von Deutschland, und besteht aus einem Überbau und verschiedenen Subsystemen.

Im Subsystem Geothermik sind Informationen aus rund 10.000 Bohrungen über das Temperaturfeld im Untergrund Deutschlands gespeichert. Ungestörte Temperaturlogs und Lagerstättentemperaturen werden als qualitativ optimale Daten angesehen, die keiner Korrektur bedürfen. Lagerstättentemperaturen liegen aufgrund der regelmäßigen, langjährigen Kontrolle der Förderbohrungen als Messwertreihen vor; die Schwankungsbreite dieser Temperaturwerte liegt überwiegend unter 1 K.

Des Weiteren sind Bottom Hole Temperatures (BHT) abgelegt. Diese BHT-Messungen werden in fast allen Industriebohrungen im Bohrloch tiefsten, 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 Bohrloch tiefsten der störende Einfluss des Spülungsumlaufs auf das Temperaturfeld am geringsten ist. In Abhängigkeit von der Standzeit nach Bohrende, der Spüldauer und der Anzahl der zur Verfügung stehenden Tem-

peraturwerte können unterschiedliche Extrapolationsverfahren verwendet werden [8]. Trotz der angewendeten Korrekturen können diese Ergebnisse im Gegensatz zu ungestörten Temperaturlogs noch mit einem Fehler von ca. ± 5 K behaftet sein.

4.3 Porositäten und Permeabilitäten

Eine wichtige Grundlage für die Bestimmung der hydraulischen Eigenschaften des Untergrundes stellen Permeabilitäts- und Porositätswerte aus Bohrkernuntersuchungen dar. Digitale Daten liefern das FIS Kohlenwasserstoffe des LBEG sowie der »Hauptspeicher Bohrungsdaten« aus der ehemaligen DDR. Da beide Datensätze ähnlich strukturierte Informationen beinhalten, gestaltete sich die Homogenisierung relativ unkompliziert. Eine korrekte Zuordnung von Untersuchungen zu Kernen und von Kernen zu Bohrlöchern, wie sie zur Interpretation der Daten notwendig ist, war bei den DDR-Daten jedoch erst nach einer intensiven Überarbeitung möglich.

Insgesamt stehen 398.469 Untersuchungen aus 2.431 Bohrungen zur Verfügung; pro Bohrung können bis zu ca. 4.000 Untersuchungen vorliegen. 311.749 Untersuchungen liefern Permeabilitäts- und Porositätsinformationen, 4.951 nur Permeabilitätswerte und 81.769 nur Porositätswerte; bei diesen Angaben können Mehrfachuntersuchungen an einer Probe enthalten sein.

Naturgemäß spiegelt die Verteilung der Untersuchungen sowohl geographisch (Abb. 2) als auch stratigraphisch das Interesse der Kohlenwasserstoffexploration wider. Mehr als die Hälfte aller untersuchten Bohrungen (1.296 Bohrungen) liegt in Niedersachsen. Neben dem Norddeutschen Becken (1.952 Bohrungen) konzentrieren sich die restlichen Bohrungen auf das Thüringer Becken (105 Bohrungen), den Oberrheingraben (93 Bohrungen) und das Süddeutsche Molassebecken (256 Bohrungen); 23 Bohrungen liegen in der deutschen Nordsee. Erwartungsgemäß überwiegen in Schleswig-Holstein Untersuchungen aus dem Dogger aufgrund der Dogger-Ölfelder nördlich der Elbe. Im anderen Teil des Norddeutschen Beckens dominieren Untersuchungen aus den Erdgas führenden Zechstein- und Rotliegendhorizonten. Daneben machen sich auch die Unterkreide-Untersuchungen im niedersächsischen Becken bemerkbar. Im Oberrheingraben und im Süddeutschen Molassebecken sind Untersuchungen aus dem Tertiär vorherrschend. Für die geothermisch relevanten Horizonte (Tab. 1) liegen dagegen ausgesprochen wenige Untersuchungen vor.

Die stratigraphische Zuordnung der Untersuchungen (Abb.3) erfolgte ausschließlich aufgrund untersuchungs- oder kernspezifischer Zusatzangaben der entsprechenden Kohlenwasserstofffirmen. Etwa 6 % der Untersuchungen lassen sich noch nicht eindeutig einer Epoche zuordnen, da entweder keine entsprechenden Informationen vorliegen oder die Untersuchung mehr als einen strati-

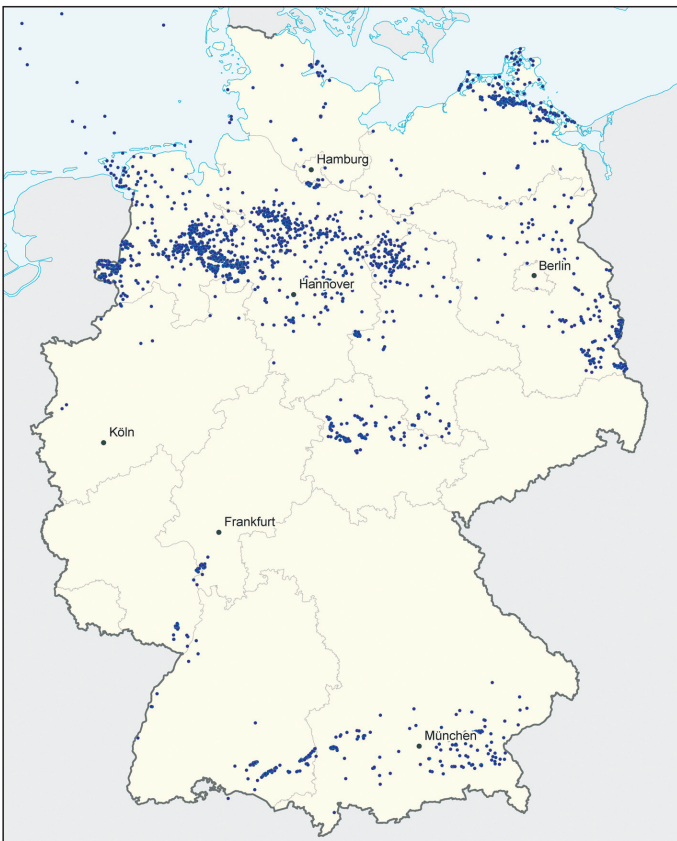


Abb. 2 Geographische Verteilung von Bohrungen mit Bohrkernuntersuchungen von Firmen der Kohlenwasserstoffindustrie aus dem Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe des LBEG

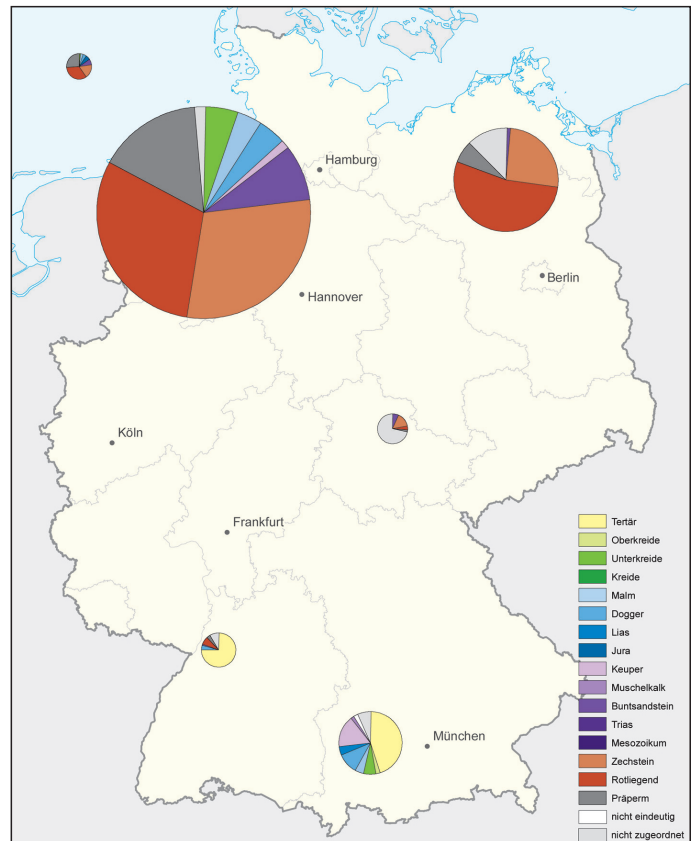


Abb. 3 Verteilung der Bohrkernuntersuchungen auf die stratigraphischen Horizonte. Die Diagramme zeigen für jedes Gebiet die Anteile der Untersuchungen aus den verschiedenen Horizonten; die Größe der Diagramme ist der Gesamtuntersuchungszahl proportional

graphischen Horizont umfasst. Den projektrelevanten Horizonten (Tab. 1) lassen sich von den restlichen 94 % der Beprobungen folgende Daten zuordnen:

- Ostteil des Norddeutschen Beckens: 189 Bohrungen mit Untersuchungen aus dem Rotliegend, 35 Bohrungen mit Untersuchungen aus dem Buntsandstein und acht Bohrungen mit Untersuchungen aus Unterkreide, Dogger, Lias und Keuper
- Oberrheingraben: zwei Bohrungen mit Untersuchungen aus dem Muschelkalk und fünf Bohrungen mit Untersuchungen aus dem Buntsandstein
- Süddeutsches Molassebecken: 21 Bohrungen mit Untersuchungen aus dem Malm.

Im nächsten Schritt soll mit Hilfe von hydraulischen Gesetzmäßigkeiten, wie beispielsweise dem Gesetz von Dupuit-Thiem, aus den Porositäts- und Permeabilitätsdaten Aussagen über zu erwartende Ergiebigkeiten abgeleitet werden.

Die Projektpartner bereiten weitere hydraulische Daten, insbesondere Testdaten, auf. Diese Daten stammen aus unterschiedlichen Bohrungen, z. B. aus Kohlenwasserstoff-, Geothermie-, Thermal- und Mineralwasserbohrungen sowie aus Bohrungen des Kalisalzbergbaus. Dabei handelt es sich derzeit um Daten aus 305 Tiefbohrungen im baden-württembergischen Teil des Oberrheingrabens, 35 Thermalwasser- und Forschungsbohrungen im bayerischen Molassebecken sowie 50 Geothermie-, Deponie- und Solebohrungen in Nordostdeutschland.

Wo es möglich ist, sollen alle Angaben zur Berechnung des Produktivitätsindex für die entsprechende Lokation herangezogen werden.

5 IT-Lösung

5.1 Raummodell

Ein wesentlicher Bestandteil des geothermischen Informationssystems wird das Raummodell des Untergrundes sein. Es dient der Speicherung, Berechnung und Visualisierung geologischer Strukturen und geophysikalischer Parameter. Um die Geschwindigkeit und Speichernutzung des Systems zu optimieren, wird hierfür eine rechteckige Gitterstruktur verwendet. Die für die tiefe Geothermie relevanten Aquifere werden durch 2½D-Raster dargestellt, so dass die Lage eines jeden Punktes im Untergrund durch seine Flächenkoordinaten und einen Tiefenwert definiert wird. Die für eine hydrogeothermische Nutzung wichtigen Parameter wie z. B. Porosität und Permeabilität werden ebenfalls als 2½D-Raster für jeden Aquifer interpoliert und gespeichert. Die Temperaturverteilung wird räumlich interpoliert und als 3D-Raster gespeichert.

Für NO-Deutschland liegen bereits Geothermie-Karten im Maßstab 1 : 200.000 vor (z. B. [2, 11]), die digitalisiert und vektorisiert wurden. Mit dem Programm ArcGIS werden die digitalen Karten überprüft und nachbearbeitet (Abb. 4). Die so aufbereiteten Daten werden anschließend durch das

Programmpaket Gocad [5] in ein 3D-Modell überführt und mit Bohrungsdaten abgeglichen (Abb. 5a). Die Umrechnung der Daten in ein orthogonales Raster erfolgt im letzten Schritt (Abb. 5b), bevor die Daten in das geothermische Informationssystem transferiert werden.

Für die Zielregionen in Süddeutschland werden aus Seismik- und Bohrungsdaten neue Untergrundmodelle erstellt, die in ähnlicher Weise bearbeitet werden sollen.

5.2 Datenbanken

Die Datenhaltung im geothermischen Informationssystem erfolgt überwiegend in einer relationalen Datenbank (Microsoft SQL Server 2000/2005), die die projektrelevanten Punkt- und Rasterdaten enthält. Im Augenblick umfasst die Datenbank 85 Tabellen mit insgesamt ca. 2 Mio. Datensätzen. Die Generierung der Tabellen und deren Füllung sowie der Import von Daten aus den verschiedenen Quellen erfolgt durch ein umfangreiches System von Datenbankskripten und Java-Programmen. Dieser Ansatz wurde vor allem gewählt, um die Erstellung der Datenbank – z. B. im Fall struktureller oder inhaltlicher Änderungen der Datenquellen – automatisch und damit sicher reproduzieren zu können.

Bezüglich des Datensatz-Mengengerüsts machen Bohrungsdaten aktuell den größten Teil der Daten aus, bezüglich des reinen Datenvolumens werden später die Rasterdaten des Raummodells überwiegen. Zu den Boh-

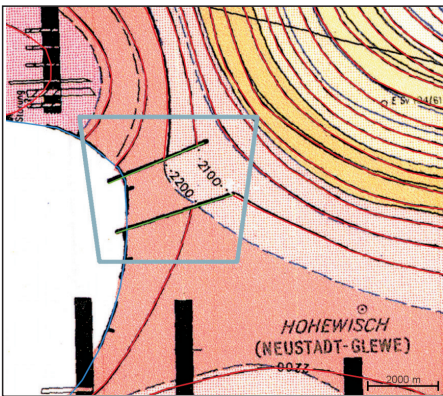


Abb. 4 Ausschnitt aus dem Kartenwerk »Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR (I) – Blatt Schwerin / Bad Döberan« [11]. Das georeferenzierte Rasterbild der Lias-Basis-Karte wurde mit ArcGIS vektorisiert; die roten Linien stellen die Teufe bezogen auf NN dar, zwei Störungen sind durch grüne Linien markiert. Im SW liegt eine Salzstruktur (blaue Linie). Der graue Rahmen markiert den Ausschnitt für Abb. 5

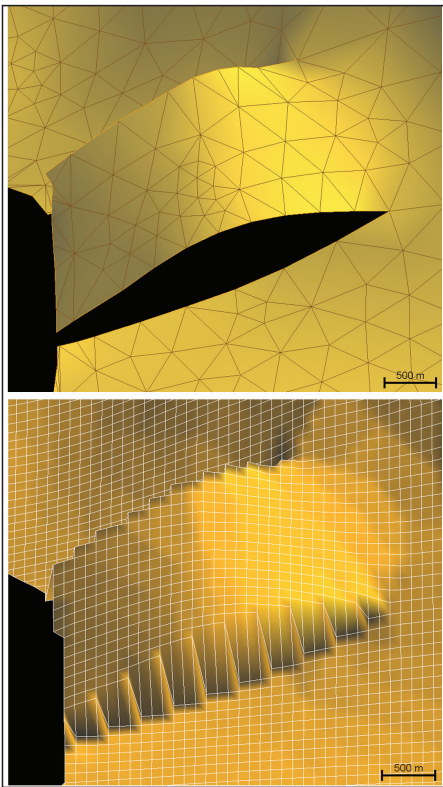


Abb. 5 3D-Modell der Lias-Basis für den in Abb. 4 grau markierten Kartenausschnitt; die Darstellung ist fünffach überhöht. a) Die Basis-Fläche wurde mittels »discrete smooth interpolation« in Gocad aus Tiefenlinien erzeugt. b) Lias-Basis als orthogonale, im Raum gekrümmte Rasterfläche (2½D-Raster); die Rasterweite beträgt 100 m.

rungsdaten gehören Stammdaten (Koordinaten, Eigentümer, Zweck, Archivnummern etc.) sowie Fachdaten (geologische Profile, Temperaturmessungen, Porositäts- und Permeabilitätsdaten, hydraulische Tests etc.). Die Fachdaten dürfen in der Regel aus rechtlichen Gründen nur von Nutzungsberechtigten verwendet werden und in ihrer originären Form nicht nach außen weitergegeben

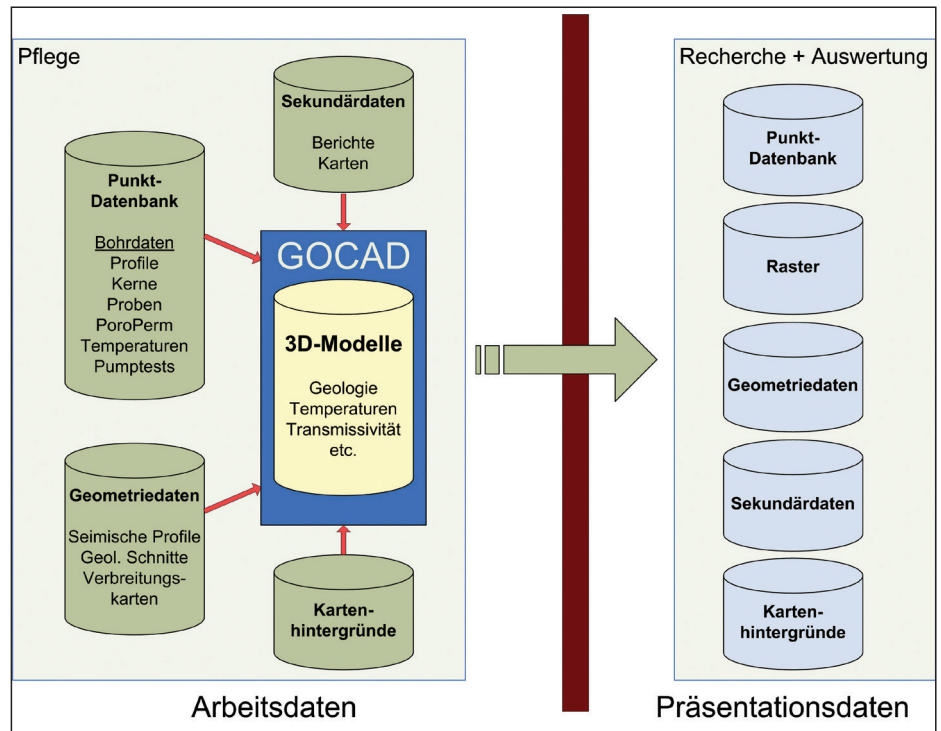


Abb. 6 Konzept zur Datenhaltung: Trennung von Arbeits- und Präsentationsdaten

werden. Die Datenhaltung muss dieser Anforderung gerecht werden, indem den Internet-Nutzern im Wesentlichen nur noch bearbeitete, generalisierte bzw. anonymisierte Daten zur Verfügung gestellt werden. Diese Anforderung wird durch eine strikte Trennung der Datenhaltung von Arbeits- und Präsentationsdaten erfüllt (Abb. 6). Die Aktualisierung der Präsentationsdaten erfolgt automatisch unter Einsatz von Datenbank-Replikationsmechanismen.

Die Datenhaltung der Flächen- und 3D-Modelldaten erfolgt aktuell im Dateisystem, z. B. in Form von Gocad-Dateien. Möglichkeiten zur Speicherung der Flächendaten in einer Datenbank werden derzeit diskutiert und erprobt. Für die 3D-Modelldaten bietet sich insbesondere für die Verwaltung von Versionen und Bearbeitungsständen die bereits im Projekt eingesetzte Versionsmanagementsoftware Subversion [9] an.

5.3 Internet

Das geothermische Informationssystem wird dem Nutzer interaktiv über das Internet die fachlich benötigten Aussagen liefern. Der Vorteil einer solchen Lösung gegenüber einem herkömmlichen Kartenwerk liegt in der Verwendung jeweils aktueller Erkenntnisse und Daten, die – sobald sie in das Informationssystem eingepflegt sind – unverzüglich dem Nutzer zur Verfügung stehen. Die gegenwärtige Rechtslage in Deutschland verkompliziert allerdings die Verwendung von Daten, die insbesondere aus seismischen Messungen und Tiefbohrungen der Kohlenwasserstoffindustrie gewonnen wurden. Deren Informationen gelten als Betriebsgeheimnis, egal wann sie gewonnen wurden oder ob die Konzession noch existiert.

Aus diesem Grund fließen zwar solche Daten in die Untergrundmodelle ein, die Nutzer können jedoch im Allgemeinen nicht mehr auf diese Basisdaten zurückgreifen.

Die Internet-Schnittstelle wird den Benutzern die folgenden Funktionalitäten bieten:

- eine geographische Suche (die dem Benutzer Angaben über die geothermische Ergiebigkeit an einem bestimmten Standort und über die Aussagesicherheit liefert. Diese Funktion basiert auf einer interaktiven Karte mit diversen Zoom- und Navigationsmöglichkeiten und verschiedenen einblendbaren Kategorien von Fachdaten und Kartenhintergründen)
- eine auf einer interaktiven Karte basierende Suche nach den Standorten existierender oder im Bau befindlicher geothermischer Anlagen
- eine formularbasierte Suche nach geeigneten Standorten anhand fachlicher Vorgaben
- diverse Visualisierungsmöglichkeiten für Untergrundmodelle (z. B. Horizontal- und Vertikalschnitte über die Geologie und geophysikalische Parameter, Projektion auf Aquifere, 3D-Darstellungen, Isolinienpläne)
- das Anklicken von Belegpunkten (z. B. Bohrungen) und die Anzeige der dort vorhandenen Basisdaten (soweit rechtlich zulässig)
- statistische Auswertungen.

Die Softwarelösung wird als Java- und PHP-basierte Web-Anwendung – kombiniert mit dem UMN-Mapserver [1] als Open-Source-Basiswerkzeug für die geographische Recherche – entwickelt.

Als Prototyp ist bereits eine Internet-Recherche für das Verzeichnis geothermischer

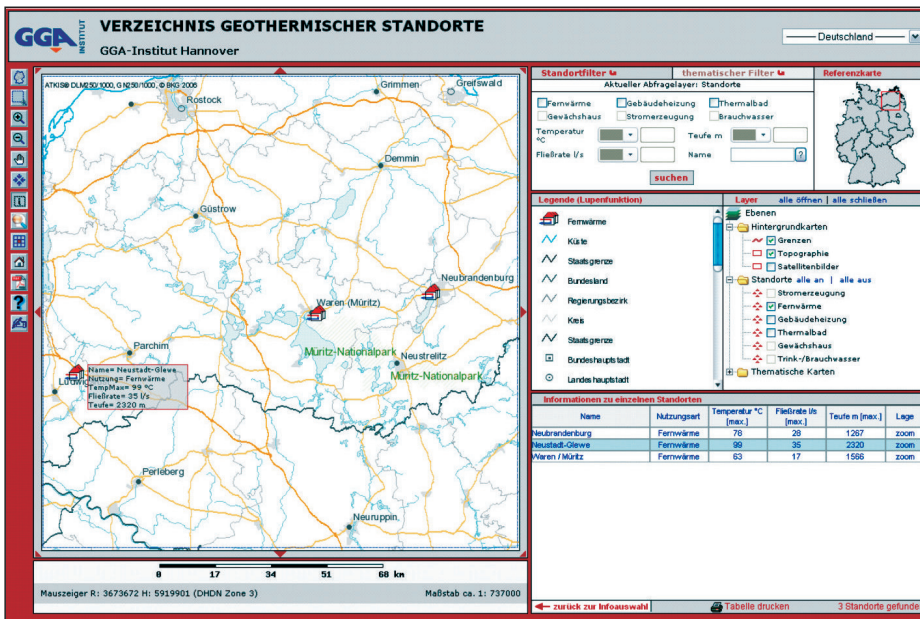


Abb. 7 Internet-Recherche im Verzeichnis der geothermischen Standorte. Der Kartenausschnitt zeigt ein Gebiet in Mecklenburg-Vorpommern. Als Hintergrund sind Verwaltungsgrenzen und Topographie eingeblendet. Die Standorte werden sowohl in der Karte als auch mit den wesentlichen Daten in der Informationstabelle (rechts unten) angezeigt. Detaillierte Daten zum jeweiligen Standort können per Mausklick abgefragt werden

Standorte fertig gestellt worden; Abb. 7 zeigt einen Bildschirmausdruck dieser Anwendung. Hintergrund für die Darstellung ist eine zoombare Deutschlandkarte. Der Benutzer kann zwischen verschiedenen topographischen und thematischen Kartenhintergründen wählen. Ein integriertes Gemeindeverzeichnis und verschiedene Möglichkeiten der Standortsuche erleichtern die Positionierung des Kartenfensters auf das Interessensgebiet. Des Weiteren kann sich der Benutzer die einzelnen Bundesländer über eine Auswahlbox anzeigen lassen, wobei auch auf die jeweilig zuständige Fachbehörde verwiesen wird. Grundlage für die Anwendung ist ein Verzeichnis aller geothermischen Anlagen in Deutschland, die in Betrieb oder in Bau sind. Dieses Verzeichnis wurde vom Personenkreis »Tiefe Geothermie« der Ad-hoc-Arbeitsgemeinschaft Geologie des Bund/Länder-Ausschuss Bodenforschung (BLA-GEO) erstellt. In dem hier vorgestellten Projekt fungiert dieser Personenkreis als Beirat, um die enge Zusammenarbeit mit den Geologischen Diensten der Bundesländer zu gewährleisten.

6 Ausblick

Das Projekt wurde im Januar 2006 begonnen. Das Informationssystem soll Ende 2008 online sein. Über den Stand der Arbeiten kann man sich auf den Webseiten des GGA-Instituts (www.gga-hannover.de) informieren. Insbesondere die Projektseiten (http://www.gga-hannover.de/gr_projekt/geotis/index.html) bieten aktuelle Informationen wie Ergebnisberichte, Tagungspräsentationen und Neuigkeiten.

Literatur

- [1] Fischer, T. (2003): UMN Mapserver 4.0: Handbuch und Referenz. MapMedia GmbH, Berlin.
- [2] Gesellschaft für Umwelt- und Wirtschaftsgeologie (1992): Geologische Grundlagen für die Geothermienutzung in Nordost-Deutschland (Kartenwerk 1:200.000), Blatt Rostock/Stralsund. Berlin.
- [3] Kühne, K. (2006): Das Fachinformationssystem Geophysik und seine Nutzung über das Internet. In: Merkel, B., Schaeben, H., Wolkersdorfer, C. & Hasche-Berger, A. (Hrsg.): GIS – Geowissenschaftliche Anwendungen und Entwicklungen, Wiss. Mitteilungen des Instituts für Geologie, 31: 227–231; Freiberg.
- [4] Kühne, K., Maul, A.-A. & Gorling, L. (2003): Aufbau eines Fachinformationssystems Geophysik. Z. Angew. Geol., 2/2003: 48–53; Hannover.
- [5] Mallet, J. L. (2002): Geomodeling. Oxford University Press, New York.
- [6] Paschen, H., Oertel, D. & Grünwald, R. (2003): Möglichkeiten der geothermischen Stromerzeugung in Deutschland. Sachstandsbericht, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht 84: 129 S.; Berlin.
- [7] Schulz, R., Jung, R. & Schellschmidt, R. (2005): Assessment of probability of success for hydrogeothermal wells. Proceedings World Geothermal Congress 2005, 24.–29. 04. 2005, Antalya, Turkey: Paper 407; 6 p.; Auckland (IGA).
- [8] Schulz, R. & Schellschmidt, R. (1991): Das Temperaturfeld im südlichen Oberrheingraben. Geol. Jb., E48: 153–165; Hannover.
- [9] Subversion (2006): Subversion version control system. <http://subversion.tigris.org/>
- [10] VDI-Richtlinie 4640: Blatt 1 – Thermische Nutzung des Untergrundes – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Dezember 2000, 32 S.; Berlin.
- [11] Zentrales Geologisches Institut (1989): Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR (1), Blatt Schwerin / Bad Doberan (1 : 200.000). Berlin.

