

**Umweltforschungsplan  
des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit**

**Umwelt und Energie, neue Energietechnologien**

**Förderkennzeichen (UFOPLAN) 204 41 131**

**Machbarkeitsstudie zur Erstellung eines  
geothermischen Atlas für Deutschland  
– Endbericht –**

**von**

**Dr. Rüdiger Schulz,  
Klaus Kühne, Dr. Andreas Maul & Andrei Zschocke**

**Institut für  
Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben  
(GGA-Institut)**

**Institutsleiter  
Prof. Dr. Hans-Joachim Kümpel**

**IM AUFTRAG  
DES UMWELTBUNDESAMTES**

**31. März 2005**



Berichts – Kennblatt

<b>Berichtsnummer</b> 1. UBA-FB	2.	3.
<b>4. Titel des Berichts</b> Machbarkeitsstudie zur Erstellung eines geothermischen Atlas für Deutschland		
<b>5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)</b> Schulz, Rüdiger,  Kühne, Klaus, Maul, Andreas & Zschocke, Andrei	<b>8. Abschlußdatum</b> 28.02.2005	
	<b>9. Veröffentlichungsdatum</b> 31.03.2005	
<b>6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)</b> Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben  Stilleweg 2 30655 Hannover	<b>10. UFOPLAN-Nr. / Förderkennzeichen (FKZ)</b> <b>204 41 131</b>	
	<b>11. Seitenzahl</b> 91	
<b>7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)</b> Umweltbundesamt  Postfach 33 00 22  14191 Berlin	<b>12. Literaturangaben</b> 30	
	<b>13. Tabellen / Diagramme</b> 7	
	<b>14. Abbildungen</b> 12	
<b>15. Zusätzliche Angaben</b>		
<b>16. Kurzfassung</b> Die Machbarkeitstudie stellt ein Konzept zur Realisierung eines geothermischen Informationssystems vor; dieses soll über Internetschnittstellen vorhandene, zu erweiternde oder neu aufzubauende Datenbestände vernetzen und über entsprechende Internetzugänge genutzt werden. Die geothermischen Horizonte (tieferer Untergrund), die erfasst werden, sollen zur Stromerzeugung oder direkten Wärmebereitstellung dienen. Die mögliche Produktionsrate ist neben der Temperatur der zentrale Parameter für die Fündigkeit geothermischer Bohrungen. Deshalb ist der Aufbau eines Fachinformationssystems Hydraulik ein Kernprojekt beim Aufbau des Informationssystems. Aus rechtlichen Gründen wird die Nutzung von vielen Daten nur in anonymisierter, d.h. in nicht georeferenzierter Form möglich sein. Nach der derzeitigen Datenlage kann ein erfolgreiches Projekt nur für die Nutzung von Aquiferen (hydrothermale Geothermie) vorgeschlagen werden. Der Aufbau eines Informationssystems zur Nutzung von Störungszonen und des Grundgebirges (HDR-Technik) sollte erst nach erfolgreichem Abschluss des vorgeschlagenen Projektes in Angriff genommen werden und sollte durch entsprechende Forschungsprojekte vorbereitet werden.		
<b>17. Schlagwörter</b> Erneuerbare Energien, geothermische Energie, Geoinformatik, Geophysik, Hydrogeologie, Fachinformationssystem		
<b>18. Preis</b>	19.	20.

### Report - Data Sheet

1. <b>Report No.:</b> UBA-FB	2.	3.
4. <b>Report Title</b> Feasibility study on the production of a geothermal atlas of Germany		
5. <b>Author(s), Family Name(s), First Name(s)</b> Schulz, Rüdiger,  Kühne, Klaus, Maul, Andreas & Zschocke, Andrei	8. <b>Report Date</b> 28.02.2005	
6. <b>Performing Organisation (Name, Address)</b> Leibniz Institute for Applied Geosciences (GGA-Institute)  Stilleweg 2, D-30655 Hannover		9. <b>Publication Date</b> 31.03.2005
7. <b>Sponsoring Agency (Name, Address)</b> Federal Environmental Agency  Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin		10. <b>UFOPLAN-No. (FKZ)</b> <b>204 41 131</b>
15. <b>Supplementary Notes</b>		11. <b>No. of Pages</b> 91
16. <b>Abstract</b> This feasibility study presents a basic concept for realising a geothermal atlas for Germany. The most important result is that instead of making a classic atlas it is necessary to create a Geothermal Information System which builds a network via internet interfaces to bundle and expand existing databases, or establish new databases, and gain access to them by setting up appropriate internet access. The geothermal horizons recorded in the system should have a potential for power generation or direct thermal energy production. In addition to temperature, the key parameter for the productivity of geothermal boreholes is the potential production rate. The setting up of a Hydraulic Technical Information System is therefore a priority project within the overall establishment of a Geothermal Information System. Much of the existing data is confidential which means that using this data needs to be anonymous, i.e. in non-georeferenced form. There is currently only enough data available to successfully conduct an aquifer project (hydrothermal energy). Setting up an information system for the use of fault zones and basement (HDR technology) should not be started until the proposed project has been successfully completed. Appropriate research projects will also need to be conducted in parallel in the run-up to this work.		12. <b>No. of References</b> 30
17. <b>Key Words</b> Renewable Energy, Geothermal Energy, Geoinformatics, Geophysics, Hydrogeology, Information System		13. <b>Tables and Diagrams</b> 7
18. <b>Price</b>	19.	20.
14. <b>Figures</b> 12		

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	4
2	Daten, geothermische Karten und Informationssysteme .....	8
2.1	Geothermische Ressourcen und Reserven, Fündigkeitsrisiko .....	8
2.2	Vorhandene geothermische Atlanten .....	15
2.3	Vorhandene länderbezogene Karten .....	15
2.4	Nutzbare Fachinformationssysteme .....	17
2.4.1	Fachinformationssystem Geophysik .....	17
2.4.2	Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe .....	19
2.4.3	Geotektonischer Atlas .....	22
2.4.4	Southern Permian Basin Atlas .....	25
2.5	Nutzbare geothermische Informationssysteme .....	26
2.5.1	CD-ROM „Geothermie in NRW“ (Oberflächennahe Geothermienutzung) .....	26
2.5.2	Geothermie-Studie Ruhrgebiet .....	27
2.5.3	Bayerischer Geothermieatlas .....	29
3	Definition des zu erstellenden Produktes .....	30
3.1	Geothermisches Informationssystem .....	30
3.2	Inhalt der Datensammlung .....	31
3.2.1	Untergrundtemperaturen .....	31
3.2.2	Aquifere (Hydrogeothermische Nutzung) .....	34
3.2.3	Kristalline Gesteine (HDR-Verfahren) .....	40
3.2.4	Geologische Störungszonen .....	43
3.3	Anwenderhandbuch .....	45
4	Aktuelle Datenlage .....	46
4.1	Datenverfügbarkeit .....	46
4.1.1	Rechtliche Rahmenbedingungen .....	46
4.1.2	Daten der Bundesländer .....	46
4.1.3	Daten der Kohlenwasserstoffindustrie .....	47
4.2	Bewertung der Daten .....	49
5	IT-Lösung .....	51
5.1	Datenaufbereitung und Ablage .....	51
5.2	Anonymisierung der Daten .....	57
5.3	Voraussetzungen für das Recherchewerkzeug .....	58
5.4	IT-Lösung der Benutzeroberfläche .....	59
5.4.1	Recherche über ein Eingabeformular .....	60
5.4.2	Recherche über eine interaktive geographische Karte .....	60
5.5	Ausdehnung des Informationssystems auf Klüfte und HDR .....	66
6	Zusätzliche Daten, Forschungsbedarf .....	69
6.1	Energiewirtschaftliche Daten .....	69
6.1.1	Ressourcenberechnung .....	69
6.1.2	Produktionsdaten .....	69
6.2	Kristalliner Untergrund: HDR und Störungszonen .....	70
6.3	Regionale Modellierung (Simulationsrechnungen) .....	72
6.4	Sensitivität von Parametermodellen .....	72

7	Vorschlag für eine Projektstruktur .....	74
8	Zusammenfassung .....	76
9	Literaturverzeichnis .....	78
10	Glossar .....	81
	Anhang .....	86

## Tabellen

Tab. 1:	Vorhandene geothermische Atlanten mit Karten für Temperaturen und / oder geothermisches Ressourcen bzw. Potenziale für Gebiete in Deutschland .....	14
Tab. 2:	Vorhandene geothermische Karten für Temperaturen und / oder geothermisches Potenzial für einzelne Bundesländer .....	16
Tab. 3:	Aktueller Datenbestand des FIS Geophysik des GGA-Institutes .....	18
Tab. 4:	Aktueller Datenbestand des FIS Kohlenwasserstoffe des NLFb. ....	21
Tab. 5:	Übersicht über die Geheimhaltung (confidentiality period) bzw. Datenfreigabe (data release) von Daten der Erdöl-/Erdgasexploration in Ländern der EU .....	48
Tab. 6:	Ergebnisdarstellung und weitere Ausgabemöglichkeiten des Auskunftssystems für Aquifere .....	64
Tab. 7:	Ergebnisdarstellung und weitere Ausgabemöglichkeiten des Auskunftssystems für HDR .....	68

## Abbildungen

Abb. 1:	McKelvey-Diagramm: Schaubild für geothermische Ressourcen und Reserven (nach /5/) .....	11
Abb. 2:	Übersicht über Daten zu Bohrkernen und Porositäten und Permeabilitäten für den Ausbau des FIS Kohlenwasserstoffe .....	22
Abb. 3:	Architekturmodell des geplanten interaktiven Geothermischen Atlas unter Einbeziehung der vorhandenen und zugänglichen Datenbestände .	52
Abb. 4:	Zugriff der Recherchekomponente auf die logischen Komponenten des Modells .....	54
Abb. 5:	Geologisches Strukturmodell, abgeleitet aus digitalen Atlanten, Bohrungen, seismischen Messungen und Interpretationen .....	54
Abb. 6:	Hydraulisches Parametermodell mit Porosität, Permeabilität, Transmissivität. ....	55
Abb. 7:	Temperaturverteilung in den Aquiferen .....	56
Abb. 8 :	Passive Begleitinformationen .....	57
Abb. 9:	Screen dump der für das FIS GP entwickelten geographischen Rechercheoberfläche. ....	61
Abb. 10:	Kartenausschnitt der vorhandenen geographischen Rechercheoberfläche, d.h. ohne Bedienungselemente .....	62

Abb. 11: Fiktiver Kartenausschnitt zusätzlich mit Störungszone (rot), seismischem Profil (hellgrün) und geologischem Vertikalschnitt (dunkelblau). .....	63
Abb. 12: Geologisches Strukturmodell für das Festgestein, abgeleitet aus digitalen Atlanten, Bohrungen, seismischen Messungen und Interpretationen. ....	67

## 1 Einleitung

Erneuerbare Energiequellen werden in Deutschland im Wärmemarkt vor allem im Mittel- und Niedertemperaturbereich (bis ca. 120 °C) eingesetzt. Solarthermische, geothermische und biomassengestützte Heiz- und Kühlanlagen für Gebäude und Industrie sowie die Einspeisung in entsprechende Verteilungssysteme (Fernwärme-/Fernkühlnetze) sind zwar Stand der Technik, werden aber aus verschiedenen Gründen nur vereinzelt verwirklicht. So steckt die direkte Nutzung der geothermischen Energie in Deutschland noch in den Anfängen. Zurzeit sind 30 größere geothermische Anlagen (mit einer installierten Leistung von jeweils mehr als 0,1 MW<sub>t</sub>) in Betrieb; die installierte Leistung beträgt insgesamt ca. 105 MW<sub>t</sub>. Bei den Anlagen handelt es sich um Einspeisungen in Fern- und Nahwärmenetze, Thermalbäder mit angeschlossener Raumheizung, Gewächshäuser und größere Anlagen mit erdgekoppelten Wärmepumpen für Heizung und Kühlung. Zusätzlich existiert eine Vielzahl von kleinen und mittleren geothermischen Wärmepumpeneinheiten (erdgekoppelte und Grundwasser-Wärmepumpen), ihre installierte Leistung dürfte bei 400 MW<sub>t</sub> liegen. Somit beträgt die gesamte installierte Leistung für die direkte Nutzung der geothermischen Energie in Deutschland ca. 505 MW<sub>t</sub> /29/.

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 interessant, also Gebiete, die nicht über hydrothermale Hochenthalpie-Vorkommen wie z.B. die zirkum-pazifischen Staaten verfügen. Unter den regenerativen Energiequellen nimmt die Erdwärme eine Sonderstellung ein, da sie ganzjährig und zu jeder Tageszeit zur Verfügung steht und daher im Grundlastbereich eingesetzt werden kann. In Ländern mit günstigen geothermischen Bedingungen nutzt man sie bereits seit Jahrzehnten für die Stromerzeugung zu konkurrenzfähigen Preisen. Die weltweit installierte geothermische Kraftwerksleistung lag im Jahr 2000 bei rund 8.000 MW<sub>el</sub>. Aktuelle Zahlen wer-

den im Frühjahr 2005 auf dem *World Geothermal Congress* in der Türkei veröffentlicht. Erste Erfahrungen für Stromerzeugung aus Niedrigenthalpie-Vorkommen in Mitteleuropa liegen vor; geothermische Kraftwerke existieren in Österreich (Altheim / Oberösterreich und Blumau / Steiermark) und in Deutschland (Neustadt-Glewe / Mecklenburg-Vorpommern). Weitere Anlagen befinden sich in der Bauphase (z.B. Unterhaching / Bayern).

Um die Zukunftschancen einer geothermischen Stromerzeugung in Deutschland einzuschätzen, hat das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) ein Gutachten vorgelegt, in dem das technische Potenzial, der Stand der Erschließungstechnik, die mögliche Einbindung geothermisch erzeugten Stroms in den Energiemarkt und die Umweltauswirkungen untersucht wurde /30/. Das TAB vergab dabei drei Fachgutachten zu diesen Teilthemen. Das Gutachten über die Abschätzung des technischen Potenzials der geothermischen Stromerzeugung und der geothermischen Kraft-Wärmekopplung (KWK) in Deutschland wurde vom Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA) in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) angefertigt /24/. Besonderer Wert wurde auf eine nachvollziehbare Methodik zur Ermittlung des technischen Potenzials gelegt. Drei Reservoirtypen, Heißwasseraquifere, Störungen und kristalline Gesteine, wurden als nutzbar eingestuft und hinsichtlich ihres Stromerzeugungspotenzials untersucht. Kriterium für die „Nutzbarkeit“ war einzig die zurzeit oder in naher Zukunft verfügbare Erschließungstechnik, die für Heißwasseraquifere schon heute vorliegt; für die kristallinen Gesteine befindet sie sich noch in der Phase der Demonstrationsprojekte (vgl. EU-Projekt zur HDR-Anlage in Soultz-sous-Forets).

Das Ergebnis des TAB-Berichtes lässt sich wie folgt zusammenfassen: Das Strom-Potenzial für Heißwasseraquifere liegt in Deutschland bei 9 EJ. Der deutsche Jahres-Strombedarf beträgt demgegenüber ca. 2 EJ. Das Wärmepotenzial (thermische Energie) bei der KWK-Nutzung beläuft sich auf 23 EJ für

die Heißwasseraquifere, bzw. bei 50 EJ beim Einsatz von Wärmepumpen. Der deutsche Jahres-Wärmebedarf beträgt demgegenüber ca. 5 EJ. Die gewonnenen Werte sind als Obergrenzen für die Strom- und KWK-Potenziale zu verstehen, da die für die Erschließung notwendigen Eigenschaften der Ressourcen nicht flächendeckend bekannt oder vorhanden sind. Ein breiter Einsatz der geothermischen Strom- und KWK-Nutzung erfordert weitere F&E-Anstrengungen zur Minderung des Fündigkeitsrisikos und zur Weiterentwicklung der Erschließungsmethoden sowie kurzfristig eine finanzielle Absicherung und Förderung kommerzieller Pilotvorhaben an geothermisch günstigen Standorten.

Für den Aufbau einer geothermischen Stromnutzung sind laut TAB-Bericht drei Sofortmaßnahmen notwendig: Erstellung eines Atlas der geothermischen Ressourcen, Entwicklung einer Aufbaustrategie für die geothermische Stromerzeugung sowie Aufbau und Betrieb von Demonstrationsanlagen.

Für alle Erdwärme-Projekte ist ein guter Kenntnisstand über den geologischen Untergrund zentrale Voraussetzung für einen erfolgreichen Projektablauf. Ohne diesen Kenntnisstand ist eine Realisierung nicht möglich; die Wirtschaftlichkeit der Anlage ist nicht kalkulierbar, das Fündigkeitsrisiko ist nicht quantifizierbar. Alle vorhandenen Daten über den Untergrund, die für eine geothermische Nutzung relevant sind, sollten deshalb in geeigneter Form zusammengeführt werden. Aus diesem Grund wurde das Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA-Institut) vom Umweltbundesamt (UBA) beauftragt, eine Machbarkeitsstudie zur Erstellung eines geothermischen Atlases für Deutschland zu erarbeiten.

Im Rahmen des Vorhabens werden die Voraussetzungen, die Durchführbarkeit (Projektierung) und die dazu notwendigen Arbeitsschritte für die Erstellung eines geothermischen Atlases für Deutschland aufgezeigt. Dabei werden folgende Fragen geklärt.

- Was ist vorhanden?

- Was soll erstellt werden? Das zu erstellende Produkt muss genau definiert werden.
- Wo liegen die entsprechenden Daten? Welche Daten fehlen?
- Wie werden die Daten aufbereitet?
- Durch wen soll die Arbeit geleistet werden?
- Welche Daten und Methoden sind noch nicht verfügbar?

Zur Klärung der Fragen ist mit vielen Personen und Institutionen Kontakt aufgenommen und das Projekt diskutiert worden. Im Folgenden werden sie im Überblick aufgelistet; ihnen sei an dieser Stelle für die konstruktive und kollegiale Zusammenarbeit gedankt:

Dr. Brauner (NLfB Hannover) über die Zusammenarbeit mit dem Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe (FIS KW).

Dr. Reichling (Leiter der Geschäftsstelle der Kommission für Geoinformationswirtschaft (GIW)) über Zusammenarbeit mit dem Projekt GeoEnergie, ein Projekt für die oberflächennahe Geothermie.

Dr. Seibt und Dr. Wolfgramm (GTN Neubrandenburg) über Datenlage in Nordostdeutschland und methodische Aspekte.

12.08.2004: CO<sub>2</sub>-Kataster für die Bundesrepublik Deutschland – Sitzung von Vertretern der staatlichen geologischen Dienste (SGD) in der BGR.

16.11.04: Dr. Hoth (BGR, Außenstelle Berlin) über überregionale Datenbestände und Verknüpfungsmöglichkeiten mit dem Southern Permian Basin Atlas.

17./18.11.04: Austauschsitzung des GGA-Institutes, Diskussion mit Vertretern der SGD.

22.11.04: Dr. Fritzer (Bayer. GLA München) über den Bayerischen Geothermie-Atlas.

09.12.04: Erste Sitzung der Personenkreise Flach- und Tiefengeothermie der SGD in Saarbrücken.

11.02.05: Herr Grundmeier (Geschäftsführer des Wirtschaftsverbandes Erdöl- und Erdgasgewinnung (WEG), Hannover) über rechtliche Rahmenbedingungen bei der Nutzung von Daten der Kohlenwasserstoffindustrie.

Auf Grund der Recherchen und Diskussionen konnte ein grundsätzliches Konzept zur Realisierung erarbeitet werden. Wichtigstes Ergebnis ist, dass kein klassischer Atlas (als Kartenwerk von thematischen Karten) erstellt werden soll, sondern ein geothermisches Informationssystem installiert werden muss, das über Internetschnittstellen vorhandene, zu erweiternde oder neu aufzubauende Datenbestände / Datenbanken vernetzt und über entsprechende Internetzugänge genutzt werden soll.

## **2 Daten, geothermische Karten und Informationssysteme**

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die vorhandenen geothermischen Atlanten und Karten für Gebiete von Deutschland gegeben. Der Überblick sollte abschließend sein, dennoch können wir nicht endgültig ausschließen, dass für kleinere Regionen oder Horizonte, die geothermisch nicht von besonderem Interesse sind, weitere Karten existieren.

### **2.1 Geothermische Ressourcen und Reserven, Fündigkeitsrisiko**

Geothermische Systeme lassen sich unter unterschiedlichen Gesichtspunkten klassifizieren (vgl. z.B. /1/). Wenn man gleichzeitig die Nutzung der geothermischen Energie berücksichtigt, bietet sich folgende Unterteilung an:

- Petrographische Systeme: Nutzung der im Gestein gespeicherten Energie z.B. mit der Hot-Dry-Rock (HDR)-Technik zur Stromerzeugung;
- Hydrothermale Systeme mit hoher Enthalpie (Wärmeinhalt), z.B. Dampf- oder Zweiphasensysteme zur Stromerzeugung (in dieser Form in Deutschland nicht vorhanden);

- Hydrothermale Systeme mit niedriger Enthalpie, z.B. Aquifere mit heißem ( $> 100\text{ °C}$ ), warmem ( $60 - 100\text{ °C}$ ) oder thermalem ( $> 20\text{ °C}$ ) Wasser, meist zur direkten Nutzung;
- Oberflächennahe geothermische Systeme (meist bis 150 m, max. 400 m), Nutzung nur mit Wärmepumpen möglich.

Die Übergänge zwischen den einzelnen Systemen sind fließend. Auch bei der Nutzung der hydrothermalen Geothermie wird die im Gestein gespeicherte Energie ebenfalls genutzt; HDR-Techniken werden auch bei der Erschließung von geringer durchlässigen Aquiferen eingesetzt. Mit ORC- oder Kalina-Technik kann man eine Verstromung von geothermischen Fluiden schon ab ca.  $100\text{ °C}$  wirtschaftlich durchführen.

Schon die niedrigen Temperaturen in den oberen Erdschichten lassen sich zur Beheizung von Gebäuden aller Art nutzen. Weit verbreitet ist der Einsatz wartungsarmer Erdwärmesonden. Dabei handelt es sich um geschlossene Systeme von Kunststoffrohren, die in meist 40 – 100 m tiefen Bohrlöchern installiert werden. In den Rohrsystemen zirkuliert ein Wasser-Sole-Gemisch, welches dem umgebenden Gestein die Wärme entzieht. Mithilfe einer Wärmepumpe wird die gewonnene Erdwärme anschließend auf das gewünschte Heiztemperatur-Niveau angehoben. Im Rahmen dieser Studie ist aber vorgesehen, sich insbesondere auf die direkte Nutzung (ohne die notwendige Einschaltung von Wärmepumpen) und auf die Verstromung geothermischer Energie zu konzentrieren; d. h. Untergrundgebiete mit Temperaturen über  $60\text{ °C}$ , bzw. über  $100\text{ °C}$  haben erste Priorität.

Die Beurteilung von geothermischen Energiepotenzialen basiert auf dem im Untergrund gespeicherten **Wärmeinhalt**. Dies entspricht dem Vorgehen bei den nicht regenerierbaren Energierohstoffen (Erdöl, Erdgas usw.). Dort schätzt man ebenfalls die im Untergrund vorhandenen Vorräte des jeweiligen Energieträgers ab und klassifiziert diese als Ressourcen (technisch gewinnbar) oder Reserven

(wirtschaftlich gewinnbar). Diese Definitionen lassen sich analog auf die geothermischen Energiepotenziale übertragen.

Unter **Ressourcen** wird der Anteil des zugänglichen Energievorrats verstanden, der sich beim gegenwärtigen Stand der Technik dem Untergrund entnehmen lässt und möglicherweise auch eine wirtschaftliche Nutzung erwarten lässt. Der in der TAB-Studie /30/ verwendete Begriff **technisches Potenzial** entspricht in etwa dem Begriff Ressource. Die in der DDR entstandenen Karten und Darstellungen (vgl. Tab. 1) enthielten keine quantifizierten Angaben zum gewinnbaren geothermischen Energieinhalt und werden deshalb als Potenzialkarten geführt.

Die Wirtschaftlichkeit für die geothermische Energienutzung wird geprägt durch hohe Investitionskosten bei dann relativ geringen Wartungs- und Betriebskosten. Den Hauptteil der Investitionen tragen die Bohrkosten einschließlich des Bohrlochausbaus (in der Größenordnung von 2,5-5 Mio. € je nach Bohrtiefe); zusätzlich entstehen Kosten für die Exploration, für das obertägige Leitungssystem, für Gebäude, Pumpen und Wärmetauscher, bzw. Verstromungsanlage. Damit hängt die Wirtschaftlichkeit stark vom anzusetzenden Zinssatz und der Amortisationsdauer ab, wobei die Anlagen meist auf eine Lebensdauer von 20-30 Jahre ausgelegt werden. Sind die Kosten für die obertägigen Einrichtungen noch relativ leicht zu bestimmen, so hängen die hohen Investitionskosten für die Bohrungen insbesondere von der Tiefe, der zu erwartenden Schüttungsrate und der Wasserzusammensetzung ab. Zur Abschätzung der geothermischen Ressourcen ist deshalb eine Vielzahl von geowissenschaftlichen Daten erforderlich, die im Folgenden kurz aufgeführt wird:

- geometrische Parameter: Ausdehnung, Nettomächtigkeit, Tiefe
- geologische Parameter: Stratigraphie, Lithologie, Faziesausbildung, Genese
- hydrogeologische Parameter: Salinität, Wasserchemismus, Ergiebigkeit, Neubildungsrate
- geophysikalische Parameter: Temperatur, Porosität, Permeabilität, Transmissivität.

Unter **Reserven** wird der Anteil der Ressourcen verstanden, der beim gegenwärtigen Preisniveau genutzt werden kann. Er unterliegt marktabhängigen zeitlichen Schwankungen; durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz sind dagegen für die Verstromung von geothermischer Energie eindeutige und zeitunabhängige Kalkulationsgrundlagen geschaffen worden.

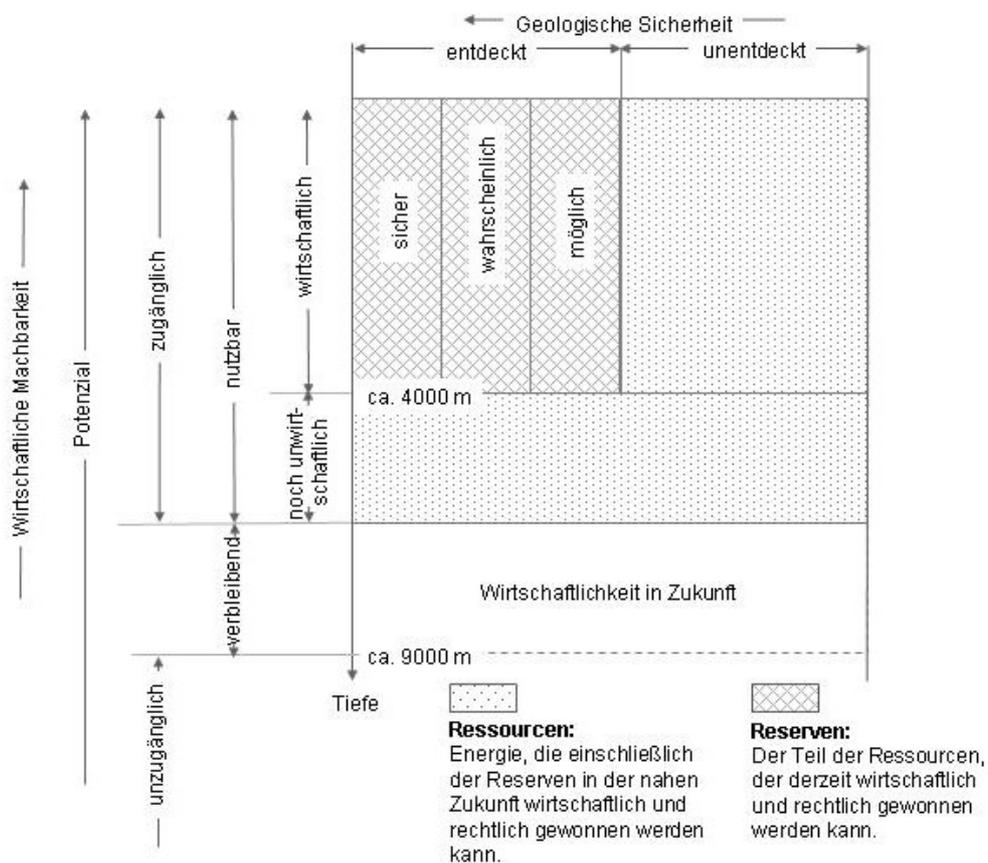


Abb. 1: McKelvey-Diagramm: Schaubild für geothermische Ressourcen und Reserven (nach /5/)

Die Begriffe Potenzial, Ressourcen und Reserven sind aus geowissenschaftlicher Sicht von besonderem Interesse und spiegeln die Tradition der Lagerstättegeologen wider. In der praktischen Umsetzung bei der Realisierung von geo-

thermischen Anlagen ist für Projektplaner, Investoren und Anlagebetreiber der Begriff des Fündigkeitsrisikos von zentraler Bedeutung; es wird wie folgt definiert:

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

Die **Quantität** wird über die (thermische) Leistung definiert, die mit Hilfe einer Bohrung (oder mehrerer Bohrungen) erreicht werden kann:

$$P = \rho_F c_F Q (T_i - T_o)$$

mit	$P$	Leistung	[W]
	$\rho_F$	Dichte des Fluids	[kg m <sup>-3</sup> ]
	$c_F$	(isobare) spezifische Wärmekapazität	[J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
	$Q$	Volumenstrom, Förderrate	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
	$T_i, T_o$	(Input-, bzw. Output-) Temperatur	[K] oder [°C]

Die Output-Temperatur  $T_o$  ist die Austrittstemperatur, die durch die Abkühlung des geothermischen Fluids in der obertägigen Anlage (Wärmetauscher, Kraftwerk) erreicht wird; sie wird ausschließlich durch technische und/oder wirtschaftliche Bedingungen bestimmt und hat nicht direkt etwas mit der Fündigkeit einer Bohrung zu tun. Die Input-Temperatur  $T_i$  ist die Eintrittstemperatur, die am Bohrlochkopf zur Verfügung steht; Wärmeverluste durch Transport zwischen Bohrlochkopf und Wärmeanlage können hier vernachlässigt werden.

Unter **Qualität** versteht man im Wesentlichen die Zusammensetzung (Chemismus) des Fluids. Fluide können Bestandteile enthalten (Gase, Salinität, o. ä.), die bei einem Überschreiten von bestimmten Konzentrationen eine geothermische Nutzung ausschließen oder erschweren.

Damit sind die zentralen geowissenschaftlichen Parameter bzw. Informationen für ein geothermisches Projekt die Temperatur des Nutzungshorizonts, seine räumliche Lage und die zu erwartende Förderrate bzw. Transmissivität des Grundwasserleiters.

Die hydraulische Durchlässigkeit eines Grundwasserleiters charakterisiert sich über die Transmissivität. Dieser Kennwert beinhaltet die Durchlässigkeit der Gesteine aber auch die Mächtigkeit des Grundwasserleiters; beides ist für die Ergiebigkeit eines Reservoirs relevant. Ein Gestein mit geringer Durchlässigkeit kann Schichten mit hoher Transmissivität bilden, wenn die Mächtigkeit (bzw. Nettomächtigkeit) entsprechend hoch ist.

Die Ergiebigkeit einer Bohrung lässt sich mit dem Produktionsindex angeben, der eine Funktion der Förderrate in Abhängigkeit der Absenkung ist. Ein direkter Zusammenhang zur Transmissivität oder anderen Kenngrößen, die die Durchlässigkeit beschreiben besteht nicht; lediglich Abschätzungen sind hier möglich.

Entscheidend für die thermische Leistung ist eine möglichst hohe Reservoirtemperatur. Durchschnittlich erwartet man in Mitteleuropa eine Temperaturzunahmen von 30 °C auf 1 km. Es gibt viele Prozesse, die die Temperaturverteilung im Untergrund beeinflussen, sodass sie von dem durchschnittlichen Gradienten deutlich abweichen können. Bei einer Standortwahl gilt es u.a. Gebiete aufzusuchen, in der hohe Temperaturen in geringer Tiefe erreicht werden können. Zusammen mit der Tiefenlage und Geometrie des Reservoirs lassen sich Prognosen für die zur Verfügung stehenden Energiemenge treffen.

Ab welchem Wert die Quantität (und Qualität) **nicht ausreichend** (ökonomisch nicht akzeptabel) ist, wird durch den Projektentwickler / Investor festgelegt; hierbei spielen vor allem betriebswirtschaftliche Überlegungen eine Rolle.

Lit.	Jahr	Typ	Gebiet	Regionen	Tiefe/Horizont	Maßstab
/2/	1980	Temperaturen	EU	Europa	500 – 5000 m	1:5 Mio.
				BRD	1000 m	1:1,75 Mio.
				Rheingraben	500 – 2500 m	1:500.000
				Landau	500 – 1500 m	1:50.000
/3/	1984	Temperaturen	DDR	DDR	500 – 5000 m	1:1,5 Mio.
		Potenzial		DDR	Unterkreide	1:1,5 Mio.
					Aalen	1:1,5 Mio.
					Lias - Rhät	1:1,5 Mio.
					Schilfsandst.	1:1,5 Mio.
					Buntsandstein	1:1,5 Mio.
/4/	1988	Ressourcen	EU/A/CH	BRD		1:2 Mio.
				Bentheim	B. Sandstein	1:200.000
				Sulingen	Valendis	1:200.000
				Rheingr.(N)	Muschelkalk	1:500.000
					Buntsandstein	1:500.000
				Rheingr.(S)	H.Rogenstein	1:400.000
					Muschelkalk	1:400.000
					Buntsandstein	1:400.000
				Molasseb.(W)	Tert. Sande	1:600.000
					Malm	1:600.000
					Muschelkalk	1:400.000
				Molasseb.(O)	Tert. Sande	1:400.000
					Malm	1:400.000
/5/	1991	Temperaturen	Europa	Europa	500 – 5000 m	1:5 Mio.
				Europa	1000 m	1:2,5 Mio.
				Europa	Ressourcen	1:5 Mio.
/6/	2002	Ressourcen	Europa	Meckl.-Vorp.	Aalen	1:2 Mio.
				Brandenburg	Lias - Rhät	1:2 Mio.
				Berlin	Schilfsandst.	1:2 Mio.
					Buntsandstein	1:2 Mio.
				Aachen	Grafenberg-S.	1:200.000
				Rheingr.(N)	Hydrobien-S.	1:300.000
					Rotliegend	1:300.000

Tab. 1: Vorhandene geothermische Atlanten mit Karten für Temperaturen und / oder geothermisches Ressourcen bzw. Potenziale für Gebiete in Deutschland

Die quantitative Abschätzung des Fündigkeitsrisikos ist die entscheidende Aufgabe, die für ein konkretes Projekt von den Geowissenschaften gelöst werden muss. Dafür muss man auf aktuelle Datenbestände zurückgreifen und diese interpretieren können. Dieser Kenntnisstand kann unter den heute verwendeten Techniken nicht mehr im Rahmen eines (analogen) Kartenwerkes geliefert werden, sondern muss durch ein entsprechendes Informationssystem abgedeckt werden.

## 2.2 Vorhandene geothermische Atlanten

Untergrundtemperaturen und geothermische Ressourcen werden seit den siebziger Jahre flächendeckend erfasst und in sind in deutschen, bzw. europäischen Atlanten zusammengestellt worden. Es existieren 5 Atlanten bzw. Kartenwerke (2/-/6/), deren Inhalt in Tab. 1 im Überblick dargestellt ist.

## 2.3 Vorhandene länderbezogene Karten

Über die in Tab. 1 genannten Atlanten hinaus gibt es eine Reihe von Karten und Kartenwerken, die insbesondere von den staatlichen geologischen Diensten (SGD) der einzelnen Bundesländer erstellt worden sind. Tab. 2 gibt einen Überblick. Die Karten sind teilweise veröffentlicht oder in Broschüren für die allgemeine Öffentlichkeit zugänglich gemacht worden, teilweise liegen sie aber auch nur als Archivbericht vor. Es ist nicht auszuschließen, dass über die genannten Produkte hinaus weitere unveröffentlichte Datenkompilationen vorhanden sind. Für Nordost-Deutschland existiert eine Geothermiestudie mit Karten, in der das Potenzial für die hydrogeothermische Nutzung einzelner Reservoirs abgeschätzt wurde. Es liegen sechs Berichte vor, die sich jeweils auf ein CC-Blatt (Maßstab 1:200.000) beziehen (z.B. /27/). Für ausgewählte Horizonte wurden effektive Mächtigkeiten, Porosität und Permeabilität, Schichttemperatur, Formationsdruck und Schichtinhalte (Gas, Wasser) ermittelt. Die Berichte enthalten:

- Tektonisch-strukturelle Karten,

- Karten zur Lithologie, Mächtigkeiten und Tiefenlage von Schichtoberkanten mit Lithologiesäulen an Bohrungslokalationen,
- Temperaturkarten,
- Potenzialkarten (Mächtigkeit, Porosität, Temperatur)
- Angaben über hydraulische Leistungstests,
- Profilschnitte, Korrelations- und Fazieschnitte.

Land	Art/Horizont/Tiefe	Produkt	Jahr	Maßstab	Lit.
BW	Thermalwässer	Karte m. Erl.	2002	verschieden	/7/
BY	Geothermieatlas	Handbuch mit Karten; CD	2004	verschieden	/8/
	Malm	Veröffentl.	1992	> 1:1 Mio.	/9/
BB	2000 m, 4000 m	Karten der Temperatur	2002	1: 1 Mio.	/10/
	verschiedene	Berichte mit Karten (CC-Blätter)	1992	1:200.000	
HB	verschieden	Digitale Karten (CD) mit Erläuterungen	2004	verschieden	/11/
HH	Siehe NI				/13/
MV	Geothermie 1500 m	Karte	2000	1:500.000	/12/
	verschiedene	Berichte mit Karten (CC-Blätter)	1992	1:200.000	z.B. /27/
NI	Buntsandstein Rhät Kreide	Bericht mit Karten	1994	1:200.000	/13/
	Übersicht	Veröffentl.	2000		/14/
NW	Oberflächennahe Geothermie	CD-ROM	2002	1: 5.000	/15/ Kap. 2.5.1
	Ruhrkarbon		2005		Kap. 2.5.2
SH	verschiedene	Broschüre	2004		/16/
SN	noch nicht veröffentlicht		2005		/17/
ST	2000 m	Karte	2003	1 : 400.000	/18/
TH	verschiedene	Studie mit Karten	1995	verschieden	/19/

Tab. 2: Vorhandene geothermische Karten für Temperaturen und / oder geothermisches Potenzial für einzelne Bundesländer

## 2.4 Nutzbare Fachinformationssysteme

### 2.4.1 Fachinformationssystem Geophysik

Beim GGA-Institut wird das Fachinformationssystem (FIS) Geophysik betrieben /20/. Teile des FIS Geophysik, insbesondere das Subsystem „Temperaturen“, sollten für die Erstellung eines geothermischen Informationssystems verwendet werden. Darüber hinaus kann die Art der Speicherung und die Möglichkeiten des Recherchierens, Visualisierens und des Daten-Exports als Grundlage für das neue geothermische System genutzt werden. Deshalb wird im Folgenden das FIS Geophysik ausführlich dargestellt.

Die Datenbank enthält Messdaten und Auswertungen verschiedener geophysikalischer Verfahren, vorrangig für das Gebiet von Deutschland. Es sind Daten des GGA-Instituts, aber auch von Partnerinstitutionen gespeichert. Das FIS Geophysik unterstützt über eine neu entwickelte Internet-Schnittstelle auch die Informationsansprüche der wissenschaftlichen Öffentlichkeit. Dabei müssen die rechtlichen Randbedingungen gewahrt bleiben.

Die Datenbank des FIS GP besteht aus einem *Überbau* und verschiedenen *Subsystemen*. Jedes Subsystem nimmt die spezifischen Daten eines geophysikalischen Verfahrens (z. B. Bohrlochgeophysik) auf.

Der Überbau ist ein gemeinsames Dach über allen Subsystemen und enthält:

- einen geowissenschaftlichen Thesaurus,
- das amtliche deutsche Gemeindeverzeichnis,
- diverse Begriffskataloge,
- die allgemeinen Stammdaten der Messungen, Messgeräte, Auswertungen usw. aller Subsysteme,
- Daten zu Projekten und Messkampagnen,
- ein Bohrverzeichnis mit den Stammdaten der Bohrungen, in denen Messungen durchgeführt wurden,
- die gesamte Benutzer- und Rechteverwaltung.

Verfahren	Aktueller Datenbankinhalt
Gravimetrie	ca. 124.000 Schweremessungen. Verteilung: deutschlandweit flächendeckend.
Magnetik	ca. 1,4 Mio. Messpunkte; überwiegend aus der Aero- magnetik. Verteilung: flächendeckend für die alten Bundesländer.
Temperaturen	55.000 Temperaturen aus 10.000 Bohrungen und Tiefen bis zu 9.100 m. Verteilung: deutschlandweit.
Bohrlochgeophysik	ca. 1.300 Logs aus 320 Bohrungen; vorwiegend mitteltiefe Bohrungen (100 -1500 m) Verteilung: projektbezogen.
Geoelektrik	ca. 22.000 Schlumberger-Sondierungen mit max. 15 km Auslage; ca. 5.000 1D-Interpretationen. Verteilung: projektbezogen.
Gesteinsphysik	Produktionsbetrieb läuft an.
Seismik	Im Aufbau

Tab. 3: Aktueller Datenbestand des FIS Geophysik des GGA-Institutes  
Insbesondere der Datenbestand „Temperaturen ist von zentraler Bedeutung für ein neues geothermisches Informationssystem.

Die **Internet-Schnittstelle** des FIS Geophysik bietet Anwendern die folgende Funktionalität

- Abgesicherter Zugang über eine leistungsfähige Benutzer- und Rechteverwaltung. Damit kann der Zugriff auf die Datenbankinhalte sehr differenziert (z. B. abhängig von Nutzungsrechten und der geographischen Lage von Messungen) geregelt werden.
- Unkomplizierte Online-Registrierung neuer Benutzer.
- Geographische Recherche (Basis: UMN-Mapserver) mit stufenlosem Zoom, wählbaren Kartenhintergründen (zzt. ATKIS DTK1000/200/50V ©,

VG250 ©, Geotektonischer Atlas), wählbaren Fachdaten-Layern und integrierter Gemeinde- und TK-Blatt-Suche.

- Attributorientierte Recherche mit komfortablen Suchformularen, der Möglichkeit der Navigation von Treffer- zu Nachbarobjekten in der Datenbank und des hierarchischen Suchens im Gemeindeverzeichnis und Thesaurus.
- Verfügbarkeit eines Pools von Auswertungs- und Visualisierungsmethoden. Dieser Pool enthält sowohl datenneutrale als auch datengebundene Auswertungsmethoden. Er ist über eine „offene“ Methodenschnittstelle beliebig erweiterbar. Bsp.: Export/Download, Statistik, Contouring, Log-Resampling, Geoelektrische 1D-Interpretation

Die Softwareentwicklung erfolgte weitgehend auf Basis von Open-Source-Produkten (UMN-Mapserver, PHP, Generic Mapping Tool u. a.).

#### **2.4.2 Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe**

Das Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe (FIS KW) wird vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLFb) betrieben. Es umfasst Daten aus dem gesamten Bundesgebiet einschließlich der deutschen Bereiche der Nord- und Ostsee. Mit dieser großen räumlichen Ausdehnung und einer hohen Vollständigkeit ist das FIS Kohlenwasserstoffe einmalig in Deutschland. Die im FIS Kohlenwasserstoffe vorliegenden Daten über seismische Messungen, Bohrungen und hydraulische Eigenschaften bestimmter Horizonte bilden unverzichtbare Grundlagen zur Ermittlung von Struktur und Tiefe von hydrogeothermischen Horizonten und zur Abschätzung der Ergiebigkeit.

Die Inhalte des FIS Kohlenwasserstoffe stammen aus Datenbanken der deutschen Kohlenwasserstoff (KW)-Industrie (unter anderem im Rahmen des Erdölgeologischen Austauschs) und aus staatlichen Archiven, vorrangig aus dem NLFb-Archiv. Industriedaten sind Dritten nur mit schriftlicher Genehmigung des Dateneigentümers zugänglich.

Die Kohlenwasserstoff-Datenbanken umfassen folgende Bereiche (s. Tab. 4):

#### *Kohlenwasserstoff-Bohrungen*

Neben allen KW-Explorations- und -Produktionsbohrungen sind darin auch weitere zu anderen Zwecken niedergebrachten Tiefbohrungen seit Beginn der Bohrtätigkeit im letzten Jahrhundert sowie Versenkbohrungen enthalten. Neben Titel- und Abweichdaten werden auch Daten zu speziellen Sachgruppen wie geologische Profile, Kernstrecken, Speichergesteine oder ähnliches aufgenommen. Alle Bohrungen sind in eindeutiger Weise durch 12-stellige Identifikationsnummern gekennzeichnet, die auch in den Datenbanken der KW-Firmen verwendet werden. Dadurch ist ein gegenseitiger Datenaustausch möglich.

#### *Seismische Bohrlochmessungen*

Dieser Bereich enthält für nahezu 3.000 Bohrungen Messdaten der seismischen Laufzeit in Abhängigkeit von der Bohrtiefe (Zeit-Tiefen-Kurven). Diese aus speziellen seismischen Bohrlochmessungen (Geophonversenkmessungen (GVM)) und Vertical Seismic Profiling (VSP)) stammenden Daten werden bei Tiefenumrechnungen reflexionsseismischer Laufzeitdaten in Tiefendaten sowie bei geophysikalischen Geschwindigkeitsanalysen benötigt.

#### *Reflexionsseismik (2D und 3D)*

Reflexionsseismische Profile (2D-Seismik) sind seit Jahrzehnten die wichtigste geophysikalische Messmethode zum Auffinden von KW-Strukturen im Untergrund. Flächenhafte reflexionsseismische Messungen (3D-Seismik) gibt es in Deutschland seit den 80er Jahren. Im FIS sind die Punktkoordinaten der reflexionsseismischen Profile und die Umrisspolygone der 3D-seismischen Flächen gespeichert.

#### *Gravimetrie*

Mit Hilfe von gravimetrischen Messungen werden die Dichteunterschiede der Gesteinsformationen im Untergrund erkundet. Die Datenbestände der Gravi-

metrie der WEG-Firmen sollen in das FIS Geophysik (Tab. 3) eingelagert werden; ein entsprechender Vertrag zwischen dem GGA-Institut und dem WEG wird zurzeit vorbereitet.

<b>Bereich</b>	<b>Aktueller Datenbankinhalt</b>
Bohrungen	Ca. 26.600 Bohrprojekte mit ca. 30.000 Bohrlöchern mit Angaben zu Bohrlogs; vorwiegend tiefe Bohrungen (1.000 - 7.000 m). Verteilung: KW-höfliche Gebiete (Norddeutsches Becken, Oberrheingraben, Süddeutsches Molassebecken).
Seismik	Nachweisdaten für ca. 21.000 2D-Profile und ca. 100 3D-Surveys Verteilung: wie Bohrungen
Gravimetrie	ca. 170.000 Schweremessungen (zukünftig im FIS Geophysik) Verteilung: Norddeutschland, Alpenvorland.
Felder	Erdöl-/Erdgasfelder mit Strukturkarten, bergrechtliche Erlaubnis- und Bewilligungsfelder Verteilung: deutschlandweit vollständig
Seismische Bohrlochmessungen	VSP- und GVM aus ca. 3.000 Bohrungen

Tab. 4: Aktueller Datenbestand des FIS Kohlenwasserstoffe des NLFb.

#### *Öl- und Gasfelder*

Dieser Bereich enthält Daten zu den derzeit produzierenden Feldern. Schwerpunkt der Erdgasförderung ist Niedersachsen (knapp 90%), während rund 60% der inländischen Ölproduktion in Schleswig-Holstein liegt.

#### *„Poroperm“*

In das FIS KW sollen weitere Daten der KW-Industrie eingelagert werden: u.z. Logs und Kerne (zzt. in Bearbeitung), Porositäten und Permeabilitäten („Poroperm“)

perm“, liegen z.T. vor) sowie Tests und Analysen (noch in Planung). Abb. 2 gibt eine Übersicht, die Daten selbst sind vertraulich (vgl. Kap. 4.1.3).

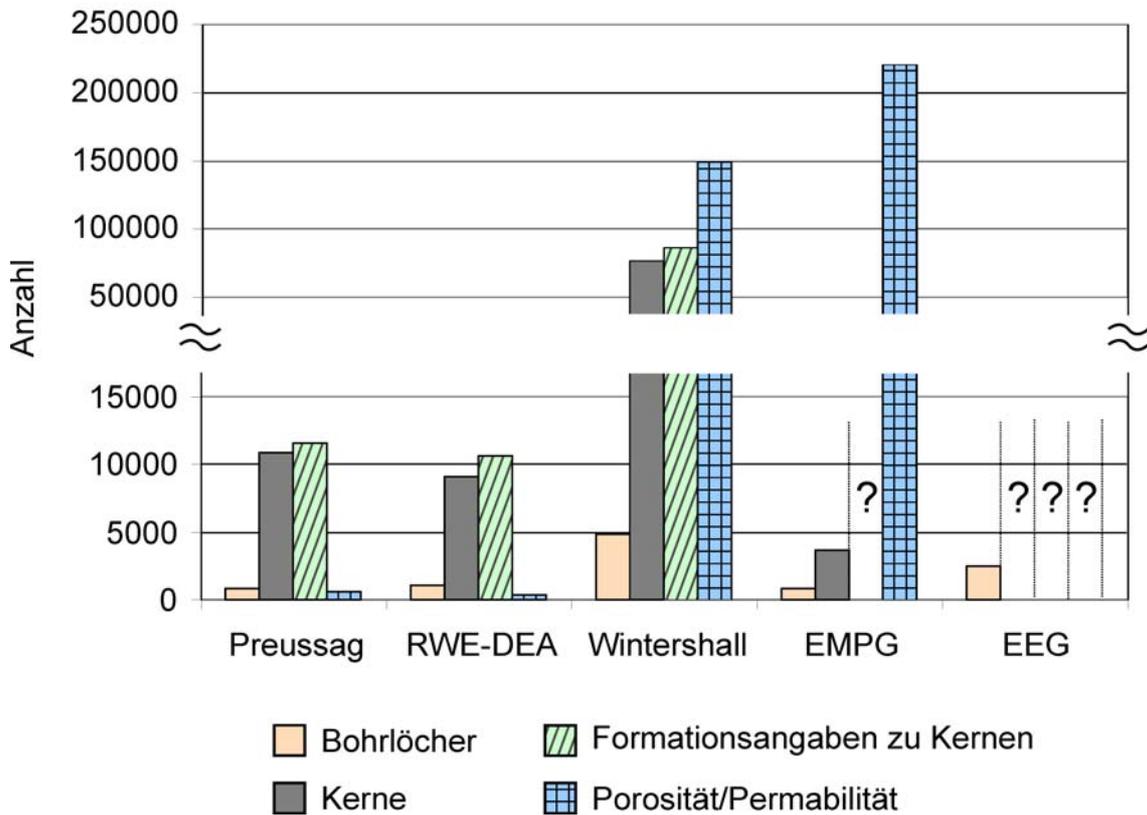


Abb. 2: Übersicht über Daten zu Bohrkernen und Porositäten und Permeabilitäten für den Ausbau des FIS Kohlenwasserstoffe.

Angegeben sind Bohrlöcher, aus denen Porositäts- und Permeabilitätsdaten vorliegen; Ausnahme EEG (hier gibt die Anzahl den Gesamtbestand an). Zu beachten ist, dass in der Anzahl der Porosität- und Permeabilitätswerte zum Teil Mehrfachmessungen an einer Probe enthalten sind.

### 2.4.3 Geotektonischer Atlas

Der Geotektonische Atlas von Nordwestdeutschland im Maßstab 1:300.000 /21/ wurde 1996 in konventioneller Weise publiziert und anschließend in elektronischer Form aufbereitet. Er liefert für die wichtigsten stratigraphischen Einheiten des Norddeutschen Beckens flächendeckend Strukturinformationen, die auch für die potenzielle geothermische Nutzung unerlässlich sind, wie Verbreitung,

Tiefenlage oder Mächtigkeit. Darüber hinaus liegen Informationen und Funktionalitäten digital vor, die dem geologischen Experten die Einschätzung hinsichtlich einer geothermischen Nutzbarkeit von bestimmten Horizonten in vorgegeben Gebieten ermöglicht.

Die Datenbasis gründet sich auf geologische und geophysikalische Daten aus ca. 75.000 Tiefbohrungen sowie auf ca. 500.000 Profilkilometer Reflexionsseismik. Diese Rohdaten wurden zu einem großen Teil von den in der WEG zusammengeschlossenen Firmen zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden Spezial- und Übersichtskartierungen der staatlichen geologischen Dienste von Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein und Hamburg verwendet. Grundlage zur Ermittlung der Tiefenlage der Basis der bearbeiteten lithostratigraphischen Einheiten bildet ein einheitliches seismisches Geschwindigkeitskonzept für das gesamte Untersuchungsgebiet, das auf ca. 1.200 Bohrungen mit seismischen Geschwindigkeitsinformationen beruht. Die Konstruktion der Tiefenpläne erfolgte im Maßstab 1:25.000. Diese wurden auf den Maßstab 1:100.000 verkleinert und an den Bohrpunkten angeglichen. Der Verlauf der Isobathen wurde mit der darüber und darunter liegenden Schicht unter Berücksichtigung der Mächtigkeitsvariationen abgestimmt. In den Karten 1:100.000 sind die wichtigsten Bohrpunkte mit Tiefenlage der Basisfläche und ihrem stratigraphischen Alter dargestellt. In der leicht vereinfachten Verkleinerung auf 1:300.000 sind diese Angaben weggelassen. Die Karten 1:100.000 liegen, zusammen mit geologischen Schnitten und ausführlichem Text, als unveröffentlichte Berichte im Archiv des Geozentrums Hannover vor. Die im NW anschließenden Gebiete des deutschen Nordsee-Sektors sind in gleicher Weise publiziert.

Der digitale Geotektonische Atlas von NW-Deutschland und der deutschen Nordsee /22/ liegt in drei verschiedenen Versionen vor:

### *CD-Version*

Struktur- und Tiefenpläne, Profilschnitte sowie zahlreiche beschreibende Texte und Tabellen des Geotektonischen Atlas sind auf CD-ROM verfügbar. Über 500 Bildobjekte, ca. 1000 beschreibende Texte und eine Literaturdatenbank mit 4000 Zitaten wurden auf 3 CDs thematisch geordnet abgelegt. Mit einem leicht zu bedienenden Navigationssystem können die umfangreichen Informationen am PC abgefragt werden. Karten kann man in frei wählbaren Maßstäben betrachten und ausschnittsweise ausdrucken. Zwischen Profilschnitten und Karte kann hin- und hergeschaltet werden. Die Daten liegen als Grafik-Pixel- und als Text-Dateien vor und können in andere PC-Programme übernommen werden.

### *Vektor-Daten-Version*

Die Inhalte der Struktur- und Tiefenpläne der 14 wichtigen Tiefenhorizonte liegen zusätzlich als Vektor-Daten (ARC/INFO-Format und Sattlegger-Format) vor. Isolinien, Verwerfungslinien, Strukturachsen, Salzstockränder, Ausbisse, Verbreitungsgebiete etc. stehen zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

### *Gitter-Daten-Version*

Als Auswertungsprodukt aus den Vektor-Daten liegen die Tiefen der 14 wichtigen Horizonte als rechtwinklige Gitter vor (Gitterkonstante 150 m). Gitter- und Vektor-Daten können miteinander verknüpft werden.

Insgesamt bietet die digitale Aufbereitung des Geotektonischen Atlas eine Vielzahl von Auswertungsmöglichkeiten, z.B:

- Über die Vektor-Daten können Flächen ausgewählt oder generiert werden, die beispielsweise die Verbreitung des Lias zeigen. Eine derartige Fläche könnte, verknüpft mit dem Tiefengitter des Lias, als Selektionskriterium für den geothermisch interessanten Rhätsandstein eingesetzt werden.
- Die Differenz zwischen Horizontgittern des Tertiärs könnte nach Neigungskorrektur Hinweise auf junge tektonische Aktivität liefern. Weiterhin sind

derartige Mächtigkeitberechnungen wichtige Bausteine für die Beckenmodellierung.

- In Verbindung der Vektor-Daten mit einer Bohrungsdatenbank können problemlos alle Bohrungen, die Salzstöcke durchteufen, ausgewählt werden, wenn z.B. eine großräumige Geschwindigkeitsanalyse für Salzgesteine erstellt werden soll.

Zusätzlich sind weitere Dateien beigefügt worden, u.a.:

- detaillierte Strukturbeschreibungen nach einheitlichem Muster, die man sich durch Mausklick auf den Strukturnamen in der Strukturübersichtskarte in das Fenster laden kann;
- Paläogeographische Übersichten bzw. Mächtigkeitdarstellungen verschiedener Horizonte in unterschiedlichen Maßstäben;
- Strukturentwicklungskarten für verschiedene Epochen;
- Lithostratigraphische Tabellen;
- Eine Literaturdatenbank.

#### **2.4.4 Southern Permian Basin Atlas**

*Der Southern Permian Basin Atlas (SPB)* ist ein in Entstehung befindliches digitales Informationssystem. Es deckt das Südliche Permbecken ab, das sich weit über die Grenzen Deutschlands hinaus erstreckt; so sind Gebiete in Großbritannien, Niederlande, Belgien, Dänemark und Polen enthalten. Die Ausdehnung des Gebietes in Nord-Süd-Richtung reicht von Dänemark bis zu den Mittelgebirgen Deutschlands. Der Atlas umfasst somit den gesamten Norddeutschen Raum und erweitert den Geotektonischen Atlas.

Der Southern Permian Basin Atlas geht auf eine gemeinsame Initiative der KW-Industrie und der Geologischen Dienste von Belgien, Großbritannien, Polen, der Niederlande, Dänemark und Deutschland zurück. In dem Projekt soll ein Produkt erstellt werden, das Informationen über den Untergrund, voraussichtlich im Maßstab 1:1 Mio., allgemein zugänglich macht. Man erhofft sich durch den

SPB-Atlas einen An Schub für die Exploration neuer Erdölfelder und darüber hinaus einen Nutzen für öffentliche Dienste, Universitäten und Forschungseinrichtungen. Das Informationssystem beinhaltet Kartenwerke und Angaben zur geologischen Entwicklung, Paläogeographie und tektonischen Entwicklung für die wichtigsten stratigraphischen Einheiten vom Präkambrium bis zum Holozän. Es werden aber auch andere Nutzungsaspekte des tiefen Untergrundes berücksichtigt, wie die geothermische Energiegewinnung. Die Veröffentlichung ist für 2008 geplant, so dass die Entwicklung des Produktes parallel zum geothermischen Atlas verläuft und infolgedessen Synergieeffekte erhofft werden können.

## **2.5 Nutzbare geothermische Informationssysteme**

### **2.5.1 CD-ROM „Geothermie in NRW“ (Oberflächennahe Geothermienutzung)**

Vom Geologischen Dienst von Nordrhein-Westfalen (GD NRW) wurde die Geothermische Potenzialstudie NRW erarbeitet /15/. Dieses Informationsangebot ist auf die oberflächennahe Nutzung der Erdwärme ausgelegt. Es ist ein statisches System. Das System deckt damit nicht den für die hier vorliegende Machbarkeitsstudie zugrunde liegenden Bedarf ab, zeigt aber die Möglichkeit auf, wie man grundsätzlich ein Informationssystem konzipieren könnte.

Eine Planung und Dimensionierung von Erdwärmesonden setzt Kenntnisse über den geologischen Untergrund voraus. Deshalb werden landesweit bis zu einer Tiefe von 100 m Angaben über

- Art, Mächtigkeit und Verbreitung der Gesteine im Untergrund,
- Grundwasserführung der Gesteine und
- Grundwasserstand

Gemacht und daraus Abschätzungen zur geothermischen Ergiebigkeit des Untergrundes für den Wärmebedarf eines Ein- bis Zweifamilienhauses abgeleitet. Die CD-ROM richtet sich sowohl an interessierte Bürgerinnen und Bürger als auch an Fachleute. Es werden zwei Versionen angeboten.

Auf der CD-ROM Basisversion befinden sich alle notwendigen Angaben, die Bauherren benötigen, um sich für eine Erdwärmesondenanlage zu entscheiden. Auf der *Basisversion* der CD-ROM befinden sich vier geothermische Karten für die Tiefenbereiche 40, 60, 80 und 100 m. Sie informieren interessierte Bauherren über die Eignung ihres Grundstückes für eine geothermische Nutzung und zeigen, in welchen Tiefenbereichen der Untergrund die höchste Ergiebigkeit aufweist.

Bei der CD-ROM *Version Professional* für Anlagenplaner, Architekten, Ingenieurbüros, Planungs- und Genehmigungsbehörden können zusätzlich zu den auf der Basisversion vorhandenen Informationen die für die geothermische Bewertung zugrunde gelegten Fachdaten zur Geologie und Hydrogeologie des Untergrundes bis 100 m Tiefe sowie Angaben über spezifische geothermische Ergiebigkeiten aufgerufen werden. Auf beiden CD-ROM-Versionen finden sich weitere Hinweise zu Genehmigungsverfahren, zu technischen Vorschriften, zu Förderprogrammen etc.

### **2.5.2 Geothermie-Studie Ruhrgebiet**

Zusätzlich zu der Studie über die oberflächennahe Geothermie erstellt der GD NRW derzeit die regionale Geothermie-Studie „Ruhrgebiet“ /23/, die Daten bis zu einer realistischen Nutzungstiefe von etwa 5.000 m umfasst. Zum Bearbeitungsgebiet zählen insbesondere Kommunen innerhalb des Ruhrgebietes und des angrenzenden Niederrheins.

Die im Rahmen der Studie betrachteten geothermischen Verfahren sind:

- größere Erdwärmesondenfelder bis in Tiefenbereiche von 200 m
- einzelne Erdwärmesonden bis in Tiefenbereiche von 3.000 m
- thermische Untergrundspeicher
- Möglichkeiten der Wärmegewinnung und Stromerzeugung mittels der Hot-Dry-Rock-Technik bis in Tiefenbereiche von 5.000 m.

Das Projektkonzept beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

*Aufbau eines dreidimensionalen geologischen Modells bis 5.000 m Tiefe:*

Dies setzte eine gezielte Sammlung und Sichtung der Daten sowie eine darauf aufbauende moderne Interpretation der Untergrundstruktur der Region voraus. Die dabei entstandenen verschiedenen geowissenschaftlichen Informationsebenen, die strukturgeologische Erkenntnisse sowie geologische Tiefenschnitte wurden mit Hilfe eines Geoinformationssystems (GIS) zu einem digitalen Untergrundmodell verknüpft. Dieses Modell bildet das Fundament der Studie.

*Ermittlung der für die Region typischen geothermischen Gesteinsparameter:*

Ein wichtiger Baustein für die geothermische Potenzialbewertung ist die Kenntnis der Gesteinseigenschaften, allen voran der Wärmeleitfähigkeit. Im Rahmen der Studie wurden durch das GGA-Institut Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit an allen typischen, im Untergrund des Ruhrgebietes vorkommenden Gesteinen durchgeführt. Ergänzt wurden diese Untersuchungen durch Messungen der Wärmekapazität ausgewählter Gesteinseinheiten.

*Modellierung der Untergrundtemperaturen bis 5.000 m Tiefe:*

Um bessere Prognosen zur Tiefentemperaturentwicklung im Untergrund des Ruhrgebietes machen zu können, wurde unter Berücksichtigung der Lithologie und der geothermischen Gesteinsparameter die zu erwartenden Temperaturen bis 5.000 m Tiefe punktförmig extrapoliert. Mit Hilfe dieser extrapolierten Daten und unter Berücksichtigung der geologischen Untergrundverhältnisse wurde der Versuch unternommen, die Temperaturen bis in den genannten Teufenbereich flächenhaft zu modellieren.

*Erstellung geothermischer Planungskonzepte:*

Es werden regionale Vorranggebiete sowie günstige Nutzungstiefen kartografisch dargestellt und die damit verbundenen potenziellen Chancen und Risiken bei der Realisierung tiefengeothermischer Anlagen erläutert. Anhand von Simu-

lationen des Langzeitverhaltens von Modellprojekten können fundierte Beratungskonzepte erstellt werden.

Die Studie beinhaltet keine Daten zu Aquiferen. Sie zeigt möglicherweise auf, wie Daten für die HDR-Nutzung zusammengestellt werden können. Mit dem Erscheinen ist in der ersten Hälfte 2005 zu rechnen.

### **2.5.3 Bayerischer Geothermieatlas**

Der Bayerische Geothermieatlas /8/ ist als Broschüre mit beigefügter CD-ROM herausgegeben. Die CD-ROM enthält Karten zur Verbreitung, Tiefenlage und Mächtigkeit der potenziellen Thermalwasseraquifere in Nord- und Südbayern. Der Darstellungsmaßstab ist 1:500.000 in Nord- und 1:250.000 in Südbayern. Darüber hinaus sind auf der CD-ROM Temperaturkarten bis Tiefen von 1.500 m unter Gelände in Nordbayern und 4.000 m unter Gelände in Südbayern mit einem einheitlichen Darstellungsmaßstab von 1:500.000 enthalten; diese Karten sind vom GGA-Institut mithilfe des Subsystems Temperaturen des FIS Geophysik erstellt worden. Alle Karten sind zum einen im pdf-Format und zum anderen als georeferenzierte Karten im pmf-Format enthalten.

Das Produkt soll eine Hilfestellung für Kommunen, Zweckverbände und private Investoren sein, die sich für hydrothermale Energiegewinnung interessieren. Anhand der Karten kann der Nutzer abschätzen, wo in Bayern günstige Verhältnisse für eine hydrothermal Wärme- oder Stromversorgung vorliegen und mit welchen Bohrtiefen und Tiefenwasser-Temperaturen zu rechnen ist.

Darüber hinaus informiert der Bayerische Geothermieatlas über die Verfahren zur hydrogeothermischen Energiegewinnung, er beleuchtet wirtschaftliche Aspekte und Risiken bei der Nutzung der Tiefengeothermie und gibt auch nützliche Hinweise zu den Genehmigungsverfahren.

### **3 Definition des zu erstellenden Produktes**

#### **3.1 Geothermisches Informationssystem**

Die vorhandenen Atlanten und Kartenwerke (Kap. 2.2, 2.3) sind mit dem Hauptziel der hydrogeothermischen Wärmenutzung erstellt worden. Sie beinhalten vor allem Karten im Übersichtsmaßstab (1:200.000 oder kleiner). Die Atlanten sind teilweise schwer erhältlich oder vergriffen; einzelne Kartenwerke liegen nur als Berichte vor und sind schwer zugänglich („Graue Literatur“). Neue Veröffentlichungen, wie der Bayerische Geothermieatlas /8/, nutzen die digitale Technik in Form von CD-ROMs (Kap. 2.5). Aber allen Produkten ist gemeinsam, dass neue Erkenntnisse und Daten erst in einer Neuauflage berücksichtigt werden können, die wegen der überschaubaren Nachfrage und hohen Erstellungskosten, wenn überhaupt, nur in großen Zeitabständen realisiert werden kann. Alle Atlanten, Kartenwerke und CD-ROMs sind statische Produkte. Im Extremfall kann man behaupten, dass sie beim Erscheinen schon veraltet sind. So konnte der Bayerische Geothermieatlas natürlich nicht die neuesten Bohrerergebnisse von aktuellen und wichtigen Geothermiebohrungen aufnehmen.

Die Forderung nach einer umfassenden, weitgehend maßstabsunabhängigen und stets aktualisierten Form eines geothermischen „Atlases“ kann nur durch ein digitales geothermisches Informationssystem erfüllt werden. Dies muss ein dynamisches Informationssystem sein, was neben, meist unveränderlichen, geowissenschaftlichen Basisdaten auch aktuelle Erkenntnisse und Ergebnisse enthält und ständig ergänzt wird. Das System muss über das Internet verfügbar sein und sollte die notwendigen Datenbanken und Fachinformationssysteme vernetzen. Die Informationen der klassischen Kartenwerke müssen natürlich in dem System enthalten sein. Die Nutzung des Informationssystems sollte durch ein Anwender-Handbuch erleichtert werden.

Das hier definierte geothermische Informationssystem sollte i. W. nur Daten des tieferen Untergrundes beinhalten: Die geothermischen Systeme, die erfasst

werden, sollten der Stromerzeugung und der direkten Wärmebereitstellung dienen. Der Bereich der oberflächennahen Geothermie (bis 100 m, ggf. 400 m; Nutzung mit Wärmepumpen) sollte nicht erfasst werden, da die Art der notwendigen Daten und ihrer Bereitstellung, vgl. Kap. 2.5.1, sich wesentlich von der tiefen Geothermie unterscheidet. Für diesen Bereich ist das Pilotprojekt Geo-Energie der Geschäftsstelle der Kommission für Geoinformationswirtschaft (GIW)) geplant, das in Zusammenarbeit mit den staatlichen geologischen Diensten der Länder durchgeführt werden könnte.

### **3.2 Inhalt der Datensammlung**

Für die geothermische Stromerzeugung und direkte Wärmebereitstellung eignen sich drei verschiedenen Reservoirtypen bzw. Nutzungsarten /24/: hydrogeothermische Nutzung, Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR) und Störungszonen. Die für diese drei Typen benötigten spezifischen Untergrunddaten werden in den folgenden Abschnitten aufgeführt. Für die Nutzung eines jeden geothermischen Systems ist die Kenntnis der Untergrundtemperatur unerlässlich.

#### **3.2.1 Untergrundtemperaturen**

Neben der Produktivität ist die Fördertemperatur des Wassers entscheidend für die Eignung eines Standortes für die geothermische Nutzung. Zur Berechnung der Untergrundtemperatur steht eine Datenbank innerhalb des FIS Geophysik des GGA-Institutes zur Verfügung, die Informationen aus rund 10.000 Bohrungen über das Temperaturfeld im Untergrund Deutschlands enthält. Ungestörte Temperaturlogs und Lagerstättentemperaturen werden als optimale Daten angesehen. Lagerstättentemperaturen liegen aufgrund der regelmäßigen, langjährigen Kontrolle der Förderbohrungen als umfangreiche Messwertreihen von bis zu 100 Einzelwerten vor; die Schwankungsbreite dieser Temperaturwerte liegt überwiegend unter 1 K, sodass sie zu einem Messwert zusammengefasst werden. Zur Erstellung von Temperaturkarten in beliebigen Maßstäben und für beliebige Tiefen werden neben Temperaturlogs, Lagerstättentemperaturen und

Fördertests vor allem Bottom Hole Temperatures (BHT) verwendet. Diese BHT-Messungen werden in fast allen Industriebohrungen im Bohrlochtiefsten, unmittelbar nach Einstellen der Bohrarbeiten, ausgeführt und sind durch den Bohrvorgang (Spülungsumlauf) thermisch gestört.

Die Datensammlungen der KW-Industrie enthalten im Wesentlichen diese gestörten BHT-Daten. Im FIS Geophysik ist dagegen ein Modul eingebaut, mit dem die gestörten Daten auf die ungestörte Gebirgstemperatur korrigiert werden. Eine solche Korrektur (Extrapolation) der 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 /25/. Bei der Extrapolation von zeitlich nur einfach belegten BHT-Werten auf die ungestörte Temperatur müssen aus umgebenden Messungen mit höherem Informationsgehalt statistische Parameter ermittelt werden. Zusätzlich werden die Werte in Verbindung mit einer statistischen Auswertung aller verfügbaren Bohrlochdaten aus dem jeweiligen Untersuchungsgebiet ausgeglichen. Neben der Belegungsdichte nimmt auch die Qualität der Temperaturdaten mit der Tiefe ab, da in größeren Tiefen wegen der hohen Kosten immer weniger ungestörte Logs gemessen oder Fördertests durchgeführt werden.

Die Interpolation von Daten für Temperaturkarten erfolgt in zwei Schritten. Da der Temperaturgradient nahezu vertikal orientiert ist, werden zunächst die Daten auf einen vorgegebenen Tiefenhorizont interpoliert und anschließend lateral in die Fläche. Zu einem gewissen Maße ist auch die Extrapolation der Temperatur in Tiefen möglich, in denen keine Messungen stattgefunden haben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Grundwasserströmungen den Temperaturgradienten über große Teufenintervalle verändern können. Modellrechnungen können

hier helfen, solche Systeme zu erfassen, zu quantifizieren und schließlich Aussagen in größeren Tiefen mit fehlenden Daten zu treffen.

Derzeit kann standardmäßig die Temperaturverteilung für eine fest vorgegebene Tiefe ermittelt werden. Für die Erfassung des geothermischen Potenzials ist aber die Temperatur in einer bestimmten geologischen Struktur mit variabler Tiefenlage von Interesse. Deshalb ist die Entwicklung geeigneter Algorithmen für die Interpolation auf beliebig im Raum liegenden Flächen, ggf. dreidimensionale Körper erforderlich. Generell ist die Temperatur gegenüber anderen Untergrundparametern ein gut zu interpolierender Parameter, da sie, durch Diffusionsprozesse bestimmt, große Korrelationslängen aufweist und der konduktive Wärmetransport der wichtigste Wärmetransportmechanismus ist. Daneben wird das Temperaturfeld in der Erdkruste von vielen sich überlagernden Prozessen bestimmt. Dabei ist der effektivste Wärmetransportmechanismus die Grundwasserströmung. Durch die Berücksichtigung von weiteren Einflüssen, wie tektonischen Bewegungen, Sedimentationsraten und Paläoklima kann das Temperaturfeld exakt rekonstruiert werden. Inwieweit mit geothermischen Methoden Grundwasserströmungen lokalisiert und quantifiziert werden können, wurde im Projekt „Geothermischen Rasteranalyse“ /26/ untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie sollten bei der Extrapolation des Temperaturfeldes in Bereiche mit sehr geringer Datendichte berücksichtigt werden.

Für die Erfassung des thermischen Gesamtregimes im regionalen Maßstab spielt das Grundgebirge eine wichtige Rolle. Es stellt im Verhältnis zu den hangenden Sedimentgesteinen einen großen Körper dar, der alleine durch seinen Wärmeleitfähigkeitskontrast bestimmend sein kann. Hinzu kommt die bei kristallinen Gesteinen nicht mehr zu vernachlässigende Wärmeproduktion, die einen großen Anteil am Gesamtwärmestrom ausmachen kann.

### 3.2.2 Aquifere (Hydrogeothermische Nutzung)

Bei der *hydrogeothermischen Nutzung* wird heißes Wasser aus der Tiefe gefördert und über einen Wärmetauscher die Wärme entzogen. Das so abgekühlte Wasser wird meist in einem anderen Ort oder Horizont wieder verpresst. Bei diesem System muss vermieden werden, dass es zu einem hydraulischen Kurzschluss zwischen Förder- und Injektionsbohrung kommt. Für diese Nutzungsart kommen Standorte in Frage, die hohe Durchlässigkeiten und Porositäten aufweisen. Der entscheidende Parameter ist die Ergiebigkeit, d.h. die zu erzielende Förderrate bei einer noch (wirtschaftlich und technisch) zu vertretenden Absenkung (Druckentlastung). Dieser Parameter lässt sich als Produktivitätsindex definieren, der aber häufig für Bohrungen nicht direkt bestimmt wird und der flächenhaft nur indirekt aus weiteren Aquifereigenschaften, die im Folgenden beschrieben werden, abgeleitet werden kann.

#### *Permeabilität und Porosität*

Die *Permeabilität* ( $k$ ) und der *Durchlässigkeitskoeffizient* ( $k_f$ ) beschreiben die Durchlässigkeit eines porösen Mediums gegenüber einer viskosen Flüssigkeit, wobei sich die Permeabilität auf die Gesteinseigenschaften beschränkt und der Durchlässigkeitskoeffizient die Eigenschaften des Wassers zusätzlich einbezieht. Der Durchlässigkeitskoeffizient (Einheit  $\text{m s}^{-1}$ ) gibt an, welcher Volumenstrom ( $Q$ ) bei einem hydraulischen Gradienten ( $\partial h / \partial x$ ) pro Fläche ( $A$ ) bei einer Wassertemperatur von  $10\text{ }^\circ\text{C}$  strömt. Die Permeabilität (Einheit  $\text{m}^2$ ) und steht mit dem Durchlässigkeitskoeffizient durch Berücksichtigung der kinematischen Viskosität ( $\nu$ ) und der Dichte ( $\rho$ ) des Mediums (z.B. Wasser) durch die Formel

$$k_f = k \frac{\rho}{\nu}$$

in Beziehung. Beide Parameter können richtungsabhängig sein und müssen dann als Tensor geschrieben werden. Geläufig ist auch die Maßeinheit Darcy; 1 darcy entspricht  $0.987 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ . Der Durchlässigkeitskoeffizient ist von zentraler

Bedeutung, wenn es um die Quantifizierung von Stoffflüssen im Untergrund geht. Er geht als Faktor in das *Darcy-Gesetz* ein:

$$v_x = k_f \frac{\partial h}{\partial x}.$$

Es ist hier formuliert für den eindimensionalen Fall mit einem Potenzialunterschied  $\partial h$  über eine Wegstrecke  $\partial x$  in Fließrichtung,  $v_x$  ist die Filtergeschwindigkeit oder Darcygeschwindigkeit. Kennt man den durch den Grundwasserfluss erfassten Querschnitt ( $A$ ), so lässt sich mit

$$Q = k_f \frac{\partial h}{\partial x} A_{\perp x}$$

die Wassermenge pro Zeiteinheit ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) bestimmen. Das Darcygesetz ist Grundlage aller hydraulischen Tests in einem oder mehreren Bohrlöchern. Es ist streng genommen nur gültig im Bereich laminaren (linearen) Fließens. Von der Fließrate und den beobachteten Gradienten wird auf die Systemdurchlässigkeit geschlossen. Dabei ergibt sich nicht die oben beschriebene Durchlässigkeit, sondern man erhält einen integralen Wert: die Profildurchlässigkeit oder auch *Transmissivität* ( $Tr$ ) des durch den Test erfassten Horizontes. Es gilt

$$Tr = \int_{z_1}^{z_2} k_f dz$$

mit  $z_1$  und  $z_2$  als Basis und Top der des Horizontes. Diese Mächtigkeit kann beispielsweise ein abgepackertes Intervall oder die Mächtigkeit eines Grundwasserleiters sein. Integriert man über die Permeabilität  $k$ , so spricht man von Transmissibilität, wobei in der Literatur zum Teil diese Begriffe als Synonyme verwendet werden.

Der Hohlraumanteil der Lockergesteine wird als *Porosität* ( $\Phi$ ) bezeichnet. Die Porosität bietet Durchlässigkeit, ist jedoch nicht direkt in diese umsetzbar, da Größe, Gestalt und Verbindung dafür entscheidend sind. Deshalb wird zwischen Porosität und durchströmter Porosität unterschieden. Darüber hinaus bietet Porosität Speichervermögen. Im gesättigten Zustand ist sie demnach der vom Grundwasser erfüllte Raum.

Bei hydraulischen Tests im instationären Strömungszustand ergibt sich neben der Transmissivität eine zweite Formationskonstante, der Speicherkoeffizient. Man unterscheidet zwischen dem spezifischen Speicherkoeffizient und dem Speicherkoeffizient. Ersterer ist definiert als die Änderung des gespeicherten Wasservolumens je Volumeneinheit des Grundwasserraums bei Änderung der Druckhöhe um einen Meter Wassersäule und hat die Einheit  $m^{-1}$ . Der Speicherkoeffizient ist das Integral des spezifischen Speicherkoeffizienten über die Grundwassermächtigkeit. Er entspricht im freien Grundwasser dem nutzbaren Hohlraumvolumen und bei gespannten Verhältnissen der Wasserabgabe pro Formationsvolumen, die bei Erniedrigung des Drucks um einen Meter Wassersäule erfolgt. Je nach dem, ob gespannte oder ungespannte Verhältnisse herrschen, unterscheidet sich der Speicherkoeffizient um mehrere Größenordnungen, denn im gespannten Grundwasserleiter spielt die Volumenänderung durch die Elastizität der Matrix und des Grundwasserleiters eine Rolle.

Dichte und Viskosität des Wassers beeinflussen maßgeblich die Durchlässigkeit des Gesteins. Diese Größen sind wiederum von Lösungsinhalt (Salinität) und Temperatur abhängig. Beimengungen von Erdöl oder Gas sind ebenso zu berücksichtigen. Hier stellt sich wieder der Vorteil von hydraulischen Bohrlochtests heraus, die die Reservoirparameter unter den in situ Bedingungen wiedergeben, ohne die Eigenschaften des Wassers kennen zu müssen.

Zur Bestimmung der hydraulischen Eigenschaften und damit der Ergiebigkeit werden in Bohrungen Tests durchgeführt. Dabei unterscheidet man Verfahren, bei denen in mehreren Bohrlöchern das Grundwasserpotenzial über die Zeit beobachtet wird und solchen, die mit einem Bohrloch auskommen. In der Lagerstättenerkundung stehen meist im engeren Umkreis keine weiteren Beobachtungsbrunnen zur Verfügung, weshalb hier standardmäßig mit dem Einbohrlochverfahren gearbeitet wird. Dazu zählen Drillstem-Tests, Injektionsverfahren, Lufthebeverfahren (Air-Lift), Tests mit Unterwasserpumpe, Auslaufstest,

Druckpulstest und Bailtests. Es kann sich um Tests im offenen Bohrloch ohne Packer, Packertests als Einfach- oder Doppelpackertests oder Tests in ausgebauten Beobachtungsbrunnen handeln.

Bei allen hydraulischen Tests in Bohrungen wird der Anfangsdruck im Testintervall gemessen. Bei Packertests geschieht das nach dem Setzen der Packer während der so genannten Compliance-Periode. Sie dient dem Abbau störender Auswirkungen durch Kompressibilität und Temperatureinflüsse. Im ersten Testschritt erfolgt grundsätzlich eine künstliche Veränderung des Anfangsdrucks im Testintervall zumeist durch Förderung oder durch Injektion von Wasser, in dichtem Gestein auch Gas, der im zweiten Schritt die Beobachtung der Erholung bis zum Formationsdruck folgt. Unter diesem Begriff wird der ungestörte Gebirgsdruck ohne Beeinflussungen durch den Bohr- und Testprozess verstanden. Der Anfangsdruck zu Testbeginn sollte gleich dem Formationsdruck sein. Zur Minimierung der Kosten für Stillstandszeiten des Bohrgeräts werden Tests in Bohrungen möglichst kurz durchgeführt. Häufig kann dadurch kein vollständiger Potenzialangleich erreicht werden, sodass die Testauswertung auf der Grundlage der zeitlichen Veränderungen der Druckhöhen und Fließraten erfolgen muss. Je länger der hydraulische Test dauert, desto größer ist der vom Drucksignal erfasste Raum. Vorteil ist dann nicht nur, dass der Wert ein größeres repräsentatives Volumen erfasst; darüber hinaus sind Bohrloch nahe Bereiche möglicherweise durch das Bohren gestört. Derartige Störeffekte spielen bei einem langen hydraulischen Test eine geringere Rolle.

Der Formationsdruck ist auch entscheidend für die Energie, die aufgewendet werden muss, um die notwendige Absenkung mit der gewünschten Förderrate zu erreichen. Im günstigen Fall ist eine Bohrung artesisch und der Druck im Reservoir reicht aus, damit das Wasser von selbst zu Tage tritt.

Für die Auswertung der unterschiedlichen hydraulischen Tests existiert eine Vielzahl von Ansätzen, die auf dem Modell von Theis für einen homogenen

Grundwasserleiter basieren. Weiterentwickelte Modelle berücksichtigen verschiedene innere Randbedingungen wie Brunnenspeicherung und Skin-Effekt, Kluftsysteme sowie äußere Randbedingungen, wie z.B. undurchlässige Barrieren oder Zuflüsse.

Zusätzlich gibt es verschiedene bohrlochgeophysikalische Verfahren, die porositätssensitiv sind und kontinuierliche Porositätsprofile liefern. Ein Zusammenhang zwischen Porosität und Permeabilität kann empirisch ermittelt werden; er gilt dann spezifisch für eine Lithologie. Kapillarmodelle, Kugelmodelle und Ansätze mittels der Theorie der Fraktale beschreiben einen Zusammenhang zwischen Porosität und Permeabilität. Die Beziehung kann mit einer Funktion des Typs  $k = x_1 \cdot \Phi + x_2 \cdot \Phi^2 + x_3 \cdot \Phi^{10}$  ausgedrückt werden. Aus dem hohen Exponenten ergibt sich eine sehr sensitive Beziehung. Ein geringer Fehler in der Bestimmung der Porosität wirkt sich stark aus und kann letztlich Fehler über zwei Größenordnungen bei der Permeabilität verursachen.

### *Produktivitätsindex*

In der Anwendung interessiert letztendlich die Ergiebigkeit einer Bohrung. Ein Kennwert hierfür ist der Produktivitätsindex PI (Einheit  $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ ). Er beschreibt die Förderrate in Abhängigkeit von der Druckabsenkung. Dieser Wert lässt sich aus den genannten hydraulischen Kennwerten nicht direkt ableiten und wird deshalb selten ermittelt. Es scheint somit schwierig, für den Produktivitätsindex ausreichend Daten erfassen zu können, um flächenhafte Verteilungen anzugeben. Eine bessere Datengrundlage findet man für die Transmissivität, die sich aus den verschiedenen oben beschriebenen Tests mit unterschiedlicher Genauigkeit ermitteln lässt. Deshalb müssen die Testergebnisse mit den Testbedingungen in einer Datenbank erfasst werden und mit entsprechenden Algorithmen für eine Aquifer bezogene Auswertung aufbereitet werden. Analog gilt dies auch für die anderen Kennwerte, aus denen die Ergiebigkeit abgeschätzt werden kann.

### *Thermophysikalische Eigenschaften*

Zu den wichtigen thermophysikalischen Eigenschaften zählen die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität. Die Fourierrechnung

$$q = \lambda \cdot \nabla T$$

beschreibt die konduktive Wärmeleitung analog zum Gesetz von Darcy. Hier ist der Wärmestrom ( $q$  in  $\text{W m}^{-2}$ ) gleich dem Produkt aus der Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$  in  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) und dem Temperaturgradienten ( $\nabla T$  in  $\text{K m}^{-1}$ ). Die Wärmeleitfähigkeit schwankt im Festgestein zwischen 2 und 6  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ , bei Kenntnis der vorkommenden Gesteine lassen sich Abschätzungen dieses Parameters treffen, die einen Fehler von unter 50% haben dürften.

Die Wärmekapazität ( $c$  in  $\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$ ) beschreibt das Vermögen eines Stoffes, Wärme zu speichern. Dieser Parameter ist wichtig bei der Beschreibung transienter, d.h. zeitlich veränderlicher Prozesse. Wegen der geringen Schwankungsbreite kommt man auch hier gut mit Literaturwerten zurecht.

Sowohl die Wärmeleitfähigkeit als auch die Wärmekapazität sind temperaturabhängig. Meist werden die Werte für Zimmertemperatur angegeben; durch Kenntnis der Reservoirtemperatur lassen sich Abschätzungen treffen, wenn temperaturabhängige Messungen nicht vorliegen.

### *Geometrische Eigenschaften*

Die Ausbreitung eines geothermischen Reservoirs spielt für die geothermische Nutzbarkeit eine wichtige Rolle. Zudem ist die Geometrie des Reservoirs zu betrachten. Aus Fläche und Mächtigkeit kann das Volumen und der Energieinhalt des Einzugsgebietes berechnet werden. Eine große Mächtigkeit erhöht die Transmissivität und das Einzugsvolumen.

Bohrungen stellen die wichtigste Datengrundlage für den Aufbau eines Untergrundmodells dar. Aufgabe ist, aus meist unregelmäßig verteilten Punktinformationen ein dreidimensionales Modell aufzubauen. Das bezieht sich zum einen

auf die Schichtenlage, aber auch auf alle relevanten hydraulischen und thermischen Parameter. Abhängig vom geologischen Bau und der Datenverteilung ergibt sich die Zuverlässigkeit des erstellten Modells. Deshalb müssen dem Anwender die Lage der Stützstellen, aber auch die Basisdaten für eine Interpretation zur Verfügung stehen, da sich erst dann die Zuverlässigkeit des Ergebnisses bestimmen lässt.

Eine weitere wichtige Datenquelle für den Aufbau eines Untergrundmodells sind seismische Profile. Bohrungen stellen Punktinformationen dar, während seismische Sektionen 2D-Informationen in der Tiefe zeigen. Die Lage vorhandener seismischer Profile ist in einem geothermischen Informationssystem anzuzeigen.

### **3.2.3 Kristalline Gesteine (HDR-Verfahren)**

Beim *Hot-Dry-Rock-Verfahren* (HDR), auch Enhanced Geothermal Systems (EGS) genannt, werden künstlich Wasserwegsamkeiten geschaffen. Durch Aufbringen hoher Drücke wird das Gestein „gefract“ (zerbrochen), sodass Risse entstehen, durch die Wasser zirkulieren kann. Der Riss bildet gleichzeitig eine große Wärmetauscherfläche, wodurch das Wasser die Formationstemperatur annimmt. Dieses Verfahren kann bei Vernachlässigung von ökonomischen Kriterien an nahezu jedem Standort angewandt werden, der die nötigen Temperaturen vorweist, da keine Anforderungen an Permeabilität und Porosität bestehen. Meist wird es mit dem kristallinen Untergrund in Verbindung gebracht, da hier keine andere Nutzungsart anwendbar ist und dieser einen großen Teil der Erdkruste ausmacht.

Beim Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR-Verfahren), sind unter dem Gesichtspunkt eines geothermischen Informationssystems viele Aspekte ähnlich zu denen bei der hydrogeothermischen Nutzung. Im Folgenden werden deshalb nur solche Aspekte behandelt, die spezifisch für das HDR-Verfahren sind.

Beim HDR-Verfahren wird dichtes Gestein mittels der Anwendung der Frac-Technik stimuliert. Unter Aufbringen hoher hydraulischer Drücke entstehen künstliche Risse oder es werden bestehende Risse aufgeweitet, die zwei oder mehrere Bohrungen miteinander hydraulisch verbinden. HDR-Technik ist vergleichsweise standortflexibel, da es geringe Ansprüche an die Durchlässigkeit des Untergrundes stellt. Zielhorizont ist meist das kristalline Grundgebirge. Inwieweit dichte Sedimentgesteine für HDR-Verfahren genutzt werden können, ist Gegenstand der Forschung und wird beispielsweise im Projekt „GeneSys“ (Gemeinschaftsprojekt der BGR und des GGA-Institutes, finanziert durch das BMU über den Projektträger Jülich, FKZ: 0327116 und 0327 112) untersucht.

Zur Bewertung von Standorten für die geothermische Energiegewinnung nach dem HDR-Verfahren benötigt man die Verbreitung des kristallinen Grundgebirges und seine Tiefenlage. Dichtes, schwach metamorphes Grundgebirge macht den Großteil des Grundgebirges in Deutschland aus, es sollte daher nicht ausgeschlossen werden, auch diese Bereiche mit einzubeziehen.

Momentan wird an der BGR im Rahmen der Suche nach alternativen Endlagerungsstandorten die Tiefenlage des Grundgebirges kartiert. Das Projekt ist vom BMU in Auftrag gegeben und wird voraussichtlich Ende Februar 2005 fertig gestellt. Zur Kartierung der Tiefenlage bezieht man sich im Wesentlichen auf Daten aus Bohrungen, zum Großteil Erdöl-/Erdgasbohrungen, und seismische Profile. Die Belegpunktdichte ist, bestimmt durch die Erdöl- und Erdgas-Erkundung, für das Grundgebirge sehr heterogen. Es ist abzusehen, dass ein Kartenwerk entsteht, das Aussagen mit einer Genauigkeit von mehreren hundert Metern zulässt, wobei lokal die Auflösung höher sein kann. Im Zuge der Erstellung eines geothermischen Informationssystems muss geprüft werden, ob und in welcher Weise dieses Kartenwerk bzw. die Datenkompilation dafür zu nutzen ist.

Ein wichtiger Parameter ist die *Temperatur*. Problematisch ist, dass in großen Tiefen wenige Temperaturdaten vorliegen. Aber durch Extrapolation können

Temperaturprognosen für nicht belegte Tiefen getroffen werden. Unter der Annahme von relativ dichtem Gestein (d.h. Ausschluss von maßgeblichen Grundwasserbewegungen) kann man aus dem dann konstanten, vertikalen Wärmestrom einen Temperaturverlauf unter Berücksichtigung der Wärmeleitfähigkeit des Gesteins ermitteln. Für größere Tiefen muss zusätzlich die Wärmeproduktionsrate des kristallinen Gesteins berücksichtigt werden.

Entscheidend für den Erfolg einer HDR-Anlage sind die Eigenschaften des künstlich erzeugten *Risses* bzw. Riss-Systems. Durch die Zirkulation des Wassers entlang der Rissfläche nimmt es die Temperatur der Formation an; Wärme wird konduktiv (durch Wärmeleitung) aus der Formation kontinuierlich nachgeführt. Der Riss stellt also nicht nur die Wasserwegsamkeit, sondern auch die Wärmeaustauschfläche zum heißen Untergrund dar. Analog zur Anlage von natürlichen geologischen Störungen richtet sich auch ein künstlicher Riss nach der Lage des Spannungsellipsoides aus. Beim „Fracen“ werden Zugspannungen aufgebracht, die das Gebirge senkrecht zur kleinsten Hauptspannung und parallel zur größten Hauptspannung aufreißt. Dazu muss der Frac-Druck die Hauptspannung im Untergrund und schließlich die Zugfestigkeit des Gesteins überschreiten. Betrachtung der Hauptspannung, sowie der Durchlässigkeit des Gesteins dienen der Abschätzung des technischen Aufwands zum Erzeugen eines Risses. Müssen hohe Spannungen überwunden werden, braucht man einen hohen Frac-Druck, aber auch größere Wassermengen (ggf. Stützmittel und andere Zusätze) müssen vorgehalten werden. Ausnahmsweise sind hier geringe Durchlässigkeiten des Gesteins von Vorteil, ansonsten könnte sich kein hoher Frac-Druck im Bohrloch aufbauen.

Das Spannungsfeld im Untergrund kann sehr differenziert aufgebaut sein; in tektonisch unbeanspruchten Gebieten steht die Hauptspannung mehr oder weniger senkrecht, weshalb eine Rissfläche sich dann ebenfalls senkrecht ausbildet. Die Rissgeometrie, vor allem seine Ausdehnung sowie seine hydraulischen Eigenschaften zu prognostizieren, ist ein anspruchsvolles Ziel. Dazu benötigt man ein Untergrundmodell mit den gesteinsmechanischen Eigenschaften der

betroffenen Schichten, die Lage bestehender Trennflächen und das vorherrschende Spannungsfeld.

Für die Projektierung von HDR-Anlagen sind demnach folgende Parameter wichtig:

- Verbreitung und Tiefenlage des Grundgebirges (ggf. auch Verbreitung, Tiefenlage und Mächtigkeiten von anderen tiefen impermeablen Formationen),
- Temperatur,
- thermophysikalische Gesteinseigenschaften,
- Permeabilität/Porosität,
- Formationsdruck,
- tektonische Spannungen,
- Trennflächensystem.

### 3.2.4 Geologische Störungszonen

Im Umgang mit *Störungszonen* als Reservoir besteht derzeit wenig Erfahrung. Ihnen wird ein großes Potenzial zugerechnet /24/, weil sie natürliche Wasserwegsamkeiten darstellen können, die in große Tiefen reichen. Abhängig vom Störungstyp, d.h. der Entstehung der Störung, den rezenten Spannungsverhältnissen, aber auch den geochemischen Prozessen können diese Strukturen sehr gut bis nicht durchlässig sein. Unsicherheiten bezüglich ihrer hydraulischen Eigenschaften einzugrenzen, eröffnet einen Forschungsbereich, der erst die Voraussetzung dafür schaffen muss, diesen Reservoirtyp planbar zu machen.

Störungen sind Trennflächen, die große Ausdehnungen haben und in große Tiefen reichen können. Beispielsweise sind Störungen mit der Auffaltung der Alpen vergesellschaftet, die weit durch Deutschland hindurch verfolgt werden können. Die Vorstellung, dass es sich um einzelne durchhaltende Trennflächen

handelt, ist nicht korrekt; vielmehr sind es staffelartig versetzte kleinere Störungen, die je nach Skalenbetrachtung ebenso komplex aufgebaut sind. Sie entstehen durch tektonische Spannungen im Untergrund, die die Festigkeit der Gesteine überschreiten. Der Versagensmechanismus ist für die verschiedenen Spannungszustände charakteristisch. Bei ausreichender Durchlässigkeit stellen Störungen gute hydraulische Verbindungen in die Tiefe dar; sie sind dann als geothermisches Reservoir interessant. Diese Wasserwegsamkeiten können bei der hydrogeothermischen Nutzung oder bei der HDR-Technik mit einbezogen werden. Der Reservoirtyp *Geologische Störungszonen* umfasst aber i. W. große Lineamente, die den größten Teil der Durchlässigkeit ausmachen.

Abhängig von der Differenzialspannung und der Orientierung der drei Hauptspannungsrichtungen gibt es drei Grundtypen von Störungen: Abschiebungen (Normal Fault) entstehen, wenn die größte Hauptspannung vertikal nach unten gerichtet und die kleinste Hauptspannung horizontal ist. Dies ist der am meisten vorkommende Störungstyp. Aufschiebungen (Thrust Fault) entstehen, wenn die größte Hauptspannung horizontal gerichtet ist und die kleinste Hauptspannung vertikal. Blattverschiebungen (Strike-Slip Fault) entstehen, wenn die größte und die kleinste Hauptspannung horizontal liegen.

Ob eine Störung eine wirksame Wasserwegsamkeit bildet, ist schwer abzuschätzen und erst durch hydraulische Tests sicher zu belegen. Abhängig von Material, Genese, geochemischen Prozessen und den rezenten Spannungsverhältnissen kann einer Störung eine Wahrscheinlichkeit eingeräumt werden, wasserleitend zu sein. Unter Kompressionsbedingungen wird den Störungen eher eine geringe Durchlässigkeit zugerechnet, während Extensionsbedingungen durchlässige Strukturen vermuten lassen. Fällungsprozesse können Trennflächen völlig schließen und dichten. Bei aktiven Störungen kann davon ausgegangen werden, dass sie offen und damit wasserleitend sind.

Wie bei der hydrogeothermischen Nutzung sind auch bei Störungszonen die zentralen Parameter für die Charakterisierung des Reservoirs die Transmissivi-

tät und die Temperatur, aber auch die Verbreitung und Geometrie der Störung. Durchlässigkeiten von Störungen abzuschätzen ist Gegenstand der Forschung. Wünschenswert wäre eine Klassifizierung anhand der Entstehungsbedingungen und der rezenten Spannungsverhältnissen, die Auskunft über das Fündigkeitsrisiko gibt.

Ein zusätzlicher Ansatz ist es, durch geothermische Strömungsindikatoren eine Klassifizierung vorzunehmen. Das Identifizieren von advektiv bedingten Temperaturanomalien, die mit Störungen vergesellschaftet sind, ist ein viel versprechender Indikator für Wasser führende und durchlässige Störungen. Umgekehrt lässt sich jedoch nicht folgern, dass Störungen ohne thermische Anomalie kein hohes geothermisches Potenzial hätten. Für die geometrische Erfassung spielen hier seismische Profile eine besonders große Rolle, da Bohrungen meist zu flach sind, um die Strukturen in die Tiefe zu verfolgen.

### **3.3 Anwenderhandbuch**

Ein Anwenderhandbuch sollte das geothermische Informationssystem ergänzen. Es hat zwei Funktionen zu erfüllen. Es soll zum einen die Anleitung und die (technische) Hilfestellung bei der Benutzung des geothermischen Informationssystems liefern. Damit umfasst es die Systemdokumentation sowie die entsprechenden Hilfetexte für die Benutzung des Systems. Zum anderen soll das Anwenderhandbuch einen Leitfaden enthalten, der den interessierten Nichtfachmann umfassend über die hydrogeothermische Nutzung informiert. Folgende Punkte sollten mindestens behandelt werden: Arten und Verfahren der geothermischen Energiegewinnung, Voraussetzung für die hydrogeothermische Nutzung, Hinweise zu Explorationsmethoden, Bohrverfahren und Stimulations-techniken, Risikoabschätzung, Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit sowie Ablauf des Genehmigungsverfahrens. Das Anwenderhandbuch sollte ebenfalls online verfügbar sein, sodass es ständig erweitert und aktualisiert werden kann.

## **4 Aktuelle Datenlage**

### **4.1 Datenverfügbarkeit**

Das GGA-Institut ist das Daten- und Kompetenzzentrum für geothermische Daten in Deutschland. Erforderlich für den Aufbau eines geothermischen Informationssystems ist aber auch die Einbeziehung von Industriedaten und länder-eigenen Daten, besonders bei den geohydraulischen Parametern.

#### **4.1.1 Rechtliche Rahmenbedingungen**

Die vorhandenen Daten unterliegen teilweise rechtlichen Restriktionen, insbesondere unter dem Gesichtspunkt, dass sie im Internet frei verfügbar gemacht werden sollen. Zu beachten sind z. B. Wahrung von Eigentumsrechten, Nutzung von Daten der Kohlenwasserstoffindustrie, Länderhoheit. Teilweise muss zwischen Stamm-(Nachweis-) Daten und Fach-(Mess-) Daten unterschieden werden.

#### **4.1.2 Daten der Bundesländer**

Im Rahmen der Daseinsvorsorge ist es Aufgabe der Geologischen Dienste der Bundesländer, Informationen über den Untergrund mit wissenschaftlichen Methoden zu erfassen, zu bewerten und zu verarbeiten sowie sie anschließend dem Staat, der Wirtschaft und dem Bürger für Zwecke der Nutzung, des Umwelt- und Naturschutzes und der Gefahrenabwehr zur Verfügung zu stellen.

Der Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung (BLA-GEO) hat am 23./24.09.2004 der Ad Hoc AG Hydrogeologie der staatlichen geologischen Dienste (SGD) den Auftrag erteilt, zwei Personengruppen (PK) zu den Themen „Nutzung des oberflächennahen geothermischen Potenzials“ und „Nutzung des tiefen geothermischen Potenzials“ einzurichten. Beide Personengruppen haben am 09.12.04 eine erste Sitzung in Saarbrücken abgehalten; Vertreter des GGA-Institutes nahmen an der Sitzung teil. Die beiden PK sollen innerhalb eines Zeitraumes von maximal zwei Jahren einen bundeseinheitlichen digitalen Produktkatalog zur wirtschaftlichen Anwendung geothermischer Daten erarbeiten. Die

Methodik soll innerhalb eines Jahres vorgestellt werden. Die hier vorgelegte Machbarkeitsstudie sollte in dem PK diskutiert werden und könnte zur Grundlage für den Produktkatalog für die Nutzung des tiefen geothermischen Untergrundes gemacht werden. Auf diese Weise könnten Daten der Länder, insbesondere im Bereich der hydraulischen Eigenschaften, in ein länderübergreifendes, bundesweites Informationssystem integriert werden.

#### **4.1.3 Daten der Kohlenwasserstoffindustrie**

Geowissenschaftliche Informationen über den tieferen Untergrund (tiefer als 1 km) beruhen zum Großteil auf geophysikalischen (seismischen) Explorationsarbeiten und Bohrungen. Diese werden überwiegend im Auftrag der Erdöl-/Erdgas- (Kohlenwasserstoff-) Industrie durchgeführt. Laut Bundesberggesetz (§ 11-13) in Verbindung mit dem Lagerstättengesetz (§ 3 und 5) werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen den entsprechenden Landesbehörden (Bergbehörden und Geologische Dienste der Länder) zur Verfügung gestellt. Die Landesbehörden und ihre Mitarbeiter unterliegen aber einer Geheimhaltungspflicht (Verpflichtung zur Wahrung des Dienstgeheimnisses).

Diese Geheimhaltung gilt auch für Untersuchungen, die längst abgeschlossen sind, und sogar für Konzessionsgebiete, in denen die Erlaubnis und / oder Bewilligung schon erloschen ist. Die (ehemaligen) Konzessionäre bleiben für ewig Eigentümer der Daten, eine Weitergabe durch die Geologischen Dienste an Antragsteller für eine neue Erlaubnis oder Bewilligung auf Erdwärme, also einem ganz anderen bergfreien Bodenschatz, ist nur mit Einverständniserklärung der Eigentümer möglich.

Dieses aus einer anderen Zeit stammende und unter anderen Rahmenbedingungen erlassene Gesetz – das Lagerstättengesetz stammt aus dem Jahr 1934 – muss den heutigen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen angepasst werden. In keinem anderen Staat der EU ist nach unserem Kenntnisstand (vgl. Tab. 5) eine solche restriktive Einschränkung vorhanden. Bei der Neuformulierung sind selbstverständlich berechnete wirtschaftliche Inte-

ressen an den Bodenschätzen, für die die ursprüngliche Erlaubnis bzw. Bewilligung erteilt worden ist, zu berücksichtigen.

Staat	Vertraulichkeit (in Jahren) Stand 1998 <sup>1)</sup>	Vertraulichkeit (in Jahren) Änderungen <sup>2)</sup>	Bemerkung, Art der Daten
Dänemark	5		
Frankreich	10		Seismik, Offshore-Bohrungen
	0		Onshore-Bohrungen
Deutschland	∞		
Irland	5-6		
Norwegen	5		Daten bis 1996
	2		Alle Daten ab 1997
Portugal	10		nach Ablauf der Konzession
Spanien	0,5		nach Aufgabe der Konzession
Niederlande	∞	10	onshore
	10	10	offshore
		5	Alle Daten ab 2003
U.K.	6	4	onshore
	∞	4	Offshore-Seismik

Tab. 5: Übersicht über die Geheimhaltung (confidentiality period) bzw. Datenfreigabe (data release) von Daten der Erdöl-/Erdgasexploration in Ländern der EU.

<sup>1)</sup> Quelle: A survey of data release policies and mechanisms in Europe by The Data Room, Sevres (France), May 1998.

<sup>2)</sup> Änderungen seit 1998 (Näheres siehe Text)

Die Tab. 5 gibt einen vereinfachten Überblick über die Dauer der Geheimhaltung (*confidentiality period*) für Daten der Erdöl-/Erdgasexploration in den alten EU-Staaten, in denen Förderung von Erdöl/Erdgas eine relevante Rolle spielt. Die Daten (Spalte 2) stammen aus einer Studie aus dem Jahr 1998. Seit Mitte der 90er Jahre sind durch die Gesetzgebung in den wichtigsten Erdöl/Erdgas produzierenden Staaten (NL, N, UK) die Geheimhaltungszeiten gesenkt worden. 1996 hat Norwegen die Geheimhaltungszeiten von 5 auf 2 Jahre reduziert.

Im Vereinigten Königreich erfolgt nach dem *Petroleum Act* 1998 die Datenfreigabe auch für Offshore-Daten nach 5 Jahren, ab 1. Januar 2004 sogar schon nach 4 Jahren (Quelle: UKOOA). Mit dem *Mining Decree* vom 2. Dezember 2002 haben die Niederlande die Geheimhaltungszeit auf 5 Jahre gesenkt (Art. 116), ältere Daten haben einen Vertrauensschutz von 10 Jahren (Art. 177).

Damit erfolgt in allen wichtigen europäischen Ländern die Freigabe von Daten aus der Erdöl-/Erdgasexploration nach einem Zeitraum von 2 bis 10 Jahren. Die deutsche Regelung, die basierend auf dem Lagerstättengesetz des Jahres 1934 keine Freigabe vorsieht, ist im europäischen Raum eine Singularität.

Unabhängig von der gesetzlichen Lage zeigt sich der WEG aufgeschlossen bezüglich einer Datenfreigabe für bestimmte Zwecke. In seiner Publikationsrichtlinie regelt er die Veröffentlichung geowissenschaftlicher Arbeiten /28/. Eine allgemeine Bereitstellung von Daten bedarf aber sicherlich einer gesonderten Regelung. Grundsätzlich bestehen von Seiten des WEG keine Einwände dagegen, dass Daten in geeigneter Form anonymisiert, d.h. ohne direkte Georeferenz und unter Wahrung kommerzieller Interessen, verwendet werden können. Es wird vorgeschlagen, die vorliegende Machbarkeitsstudie dem Geowissenschaftlichen Ausschuss des WEG vorzustellen und das weitere Vorgehen im Detail abzustimmen.

## 4.2 Bewertung der Daten

In Kap. 3.2 wird angegeben, welche Parameter oder Kenngrößen für die Bestimmung des geothermischen Potenzials relevant sind und damit auch Inhalt des Informationssystems sein sollen. Aus der Beschreibung geht bereits hervor, dass manche Kenngrößen ein besonderes Gewicht haben.

Der erste zentrale Parameter für alle drei Reservoirtypen ist die *Temperatur*. Geophysikalisch ist die Temperaturverteilung des Untergrundes gut bestimmbar. Die Datenlage ist sehr unterschiedlich, da Messungen nur in Bohrungen vorgenommen werden können und die Daten deshalb eine unregelmäßige Ver-

teilung haben. Wegen der zugrunde liegenden Wärmeleitung sind keine abrupten Temperatursprünge zu erwarten. Deshalb ist die Temperatur ein gut interpolierbarer Parameter. Sollten Messungen fehlen, können Modellrechnungen das natürliche Temperaturfeld nachvollziehen. Neben der Wärmeleitung sollte dabei das Grundwasserfließen berücksichtigt werden. Alle weiteren Prozesse, die sich auf das Temperaturfeld auswirken, sind zwar nötig für eine genaue Auflösung, für eine Abschätzung des geothermischen Potenzials jedoch nicht erforderlich.

Zweiter entscheidender Parameter für eine hydrogeothermische Standortwahl ist eine ausreichend hohe *Durchlässigkeit* im Untergrund, die hohe Förderraten ermöglicht. Alle Parameter, die zur Abschätzung der zu erwartenden Förderraten herangezogen werden können, haben daher oberste Priorität. Dazu gehört der Durchlässigkeitsbeiwert sowie Durchlässigkeit, Transmissivität und Transmissibilität. Diese Größen lassen sich auch mit ausreichender Genauigkeit ineinander umrechnen. Da meist die gesamte Mächtigkeit eines Reservoirs angeschlossen wird, ist die Transmissivität der entscheidende Faktor. Bei ausreichender Datenlage wäre ein Produktionsindex als Zielgröße der Transmissivität vorzuziehen.

Auch die Porosität kann genutzt werden, um Durchlässigkeiten abzuschätzen. Ein solches Vorgehen ist zwar mit hohen Unsicherheiten behaftet; angesichts der relativ guten Datenlage bei Porositätswerten sollte aber nicht darauf verzichtet werden, diesen Parameter aufzunehmen.

Die Durchlässigkeit ist aufgrund ihrer großen Variabilität ein quantitativ äußerst kritischer Parameter. Die hohe Variabilität rührt daher, dass Gesteinstyp, Genese, Diagenese, tektonische und geochemische Historie die Durchlässigkeit bestimmen. Die Überlagerung der verschiedenen Faziesräume wirkt sich auf die Porengestaltung und ihre räumliche Verteilung aus. Es können sich komplexe Systeme bilden, die nur schwer in ihrer Entstehung nachvollziehbar sind. Man beschränkt sich daher auf die rein statistische Betrachtung von hydraulischen

schen Kennwerten innerhalb einer geologischen Einheit. Zudem ist die Durchlässigkeit skalenabhängig, so dass man – in Abhängigkeit, über welches Volumen man die hydraulischen Eigenschaften integriert – zu unterschiedlichen Aussagen gelangt. Der Grund hierfür liegt im Wesentlichen in der Zusammensetzung der Durchlässigkeit aus einer Poren- und Kluftdurchlässigkeit. Klüfte oder Trennflächen bilden sehr inhomogene, anisotrope Systeme, die erst bei großen Skalen homogen erscheinen.

Der wichtigste thermophysikalischer Parameter zum Verständnis des Temperaturfeldes ist die *Wärmeleitfähigkeit*. Da aber der advective Wärmetransport ein weitaus effektiverer Mechanismus ist, spielt er bei der hydrogeothermischen Nutzung eine untergeordnete Rolle. Anders ist es beim Hot-Dry-Rock-Verfahren, wo dem undurchlässigen Gestein durch Wärmeleitung die Energie entzogen werden muss. Für die Bestimmung der Wärmekapazität wird es in den meisten Fällen ausreichen, Literaturwerte anzuwenden, da dieser Wert in der Natur nur geringen Schwankungen unterworfen ist.

## **5 IT-Lösung**

### **5.1 Datenaufbereitung und Ablage**

Ziel des Vorhabens ist der Aufbau eines öffentlich nutzbaren geothermischen Informationssystems, das das beim GGA-Institut entwickelte Fachinformationssystem Geophysik sowie Fremddaten unterschiedlicher Herkunft integriert (Abb. 3). Zentrale Bedeutung haben dabei einerseits der einfache Zugriff auf das Informationssystem mit Hilfe des Internets und die Bedienung über die Benutzeroberfläche, andererseits der Zugriff des Systems auf die verteilten Basisdaten über entsprechende Schnittstellen.

Bei der BGR wird derzeit der deutsche Beitrag für den *Southern Permian Basin Atlas* (Kap. 2.4.4) zusammengestellt. Diese Daten sollen mit den Informationen

aus der *Stratigraphie-Datenbank* verschnitten werden und somit wichtige Informationen zu den Untergrundstrukturen liefern.

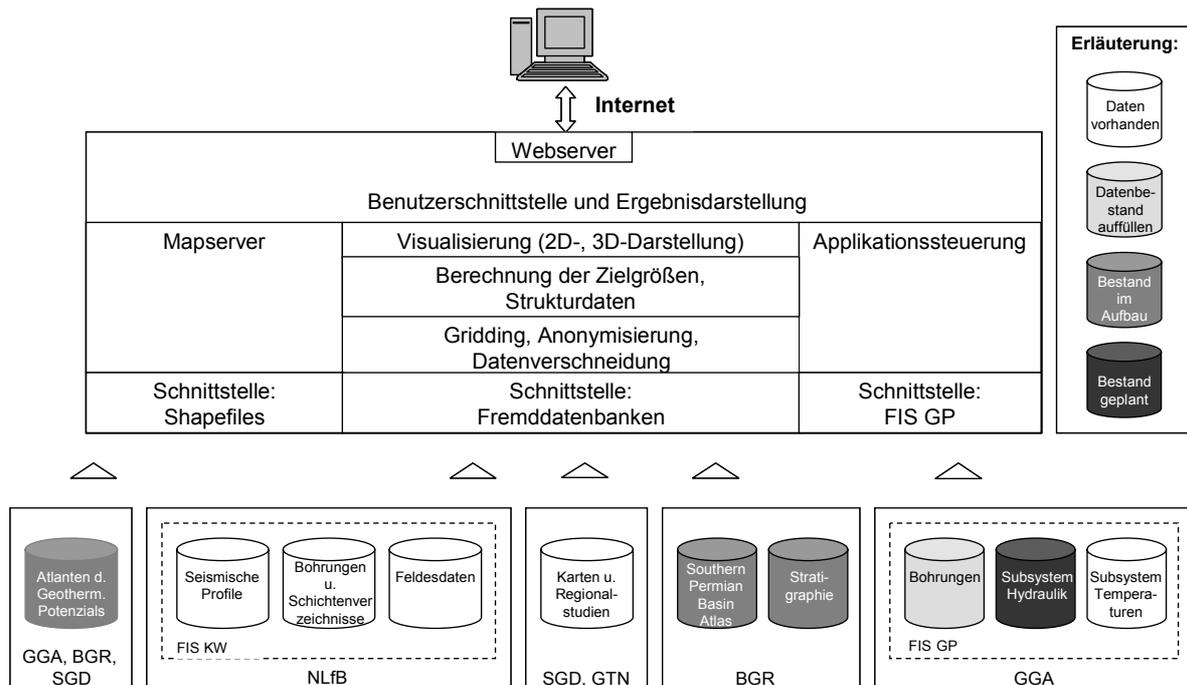


Abb. 3: Architekturmodell des geplanten interaktiven Geothermischen Atlas unter Einbeziehung der vorhandenen und zugänglichen Datenbestände

Einen wesentlichen Beitrag für das Informationssystem soll das *Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe* (FIS KW, Kap. 2.4.2) des NLfB liefern, in dem neben Bohrungen und Schichtenverzeichnissen auch die Felddaten der Öl- und Gaslagerstätten sowie die seismischen Profile der KW-Industrie vorliegen. Da jedoch diese Informationen größtenteils vertraulich sind, können diese Daten nicht direkt verwertet werden, sondern müssen anonymisiert werden. Auch für die Nutzung in anonymisierter Form muss das Einverständnis der KW-Firmen vorliegen. Das Anonymisieren kann u.a. dadurch geschehen, dass aus den Bohrungsinformationen durch Interpolation (Kriging, Gridding) Gebiete mit gleichen Gesteinseigenschaften konstruiert werden, die zur Berechnung der

Zielgrößen herangezogen werden. Die angezeigten Parameter können auf diese Weise den einzelnen Bohrungen nicht mehr zugeordnet werden.

Weiterhin können die *Karten des Geothermischen Potenzials*, die sich jedoch auf bestimmte Regionen Deutschlands beschränken, zur Plausibilitätskontrolle der abgeschätzten Zielgrößen verwendet werden. Zusatzinformationen, wie die Anzeige von Klüften und die Einbindung von *Seismischen Profilen*, ergänzen die Darstellung, wobei jedoch voraussichtlich neben der Georeferenzierung nur Informationen über den Eigentümer der Messung vermittelt werden können (der allerdings im jeweiligen Nutzungsfall um Freigabe der Daten gebeten werden kann), da zurzeit der direkte Zugriff aufgrund der Vertraulichkeit der Daten nicht ermöglicht werden kann.

Zur Navigation und Informationsgewinnung soll ein *Mapserver* eingesetzt werden, der gleichzeitig topographische Informationen und georeferenzierte Fachdaten zusammenführt und dem Nutzer präsentiert. Es ist geplant, dass sich der Nutzer mit Hilfe dieses Werkzeuges in die ihn interessierende Region navigieren, die dort vorhandenen unterschiedlichen Informationen abrufen und dadurch im Zusammenhang prüfen kann. Insbesondere soll durch den Nutzer die Berechnung der Zielgrößen für den betreffenden regionalen Bereich angestoßen werden können und in flächenhafter Darstellung oder als Volumenmodell über das Internet präsentiert werden.

Sind die Basisdaten in Abb. 3 i.W. nach den datenhaltenden Organisationen geordnet, so sind sie in den Abb. 4-8 in ihren logischen Zusammenhang gestellt. In Abb. 4 sind zunächst die Hauptkomponenten des Gridmodells dargestellt, die in den folgenden Abbildungen detailliert aufgeschlüsselt werden. Zentraler Bestandteil des Informationssystems ist ein (aus den vorhandenen Datenbeständen zu kombinierendes und aufzubauendes) 3D-Gridmodell der Untergrundstrukturen Deutschlands, das sich zum einen aus den geologischen Strukturen (Abb. 5) als auch aus dem hydraulischen Parametermodell (Abb. 6) zu-

sammensetzt. Voraussichtlich ist die Anfertigung eines solchen Modells nur für ausgewählte Regionen Deutschlands, z.B. innerhalb der Beckengrenzen, mit hinreichender Genauigkeit möglich, da die Bohrungsinformationen regional sehr unterschiedlich dicht verteilt sind.

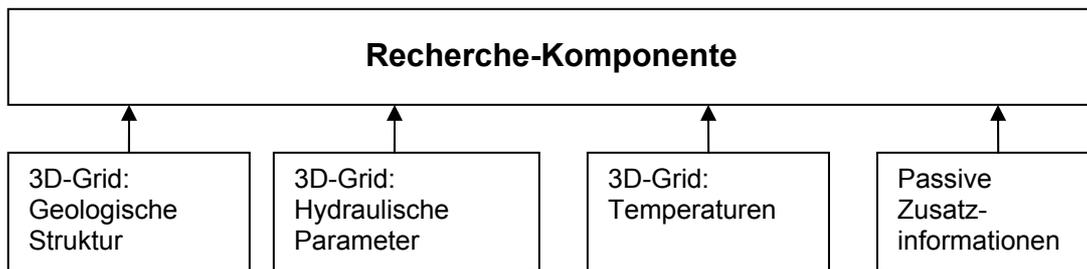


Abb. 4: Zugriff der Recherche-Komponente auf die logischen Komponenten des Modells

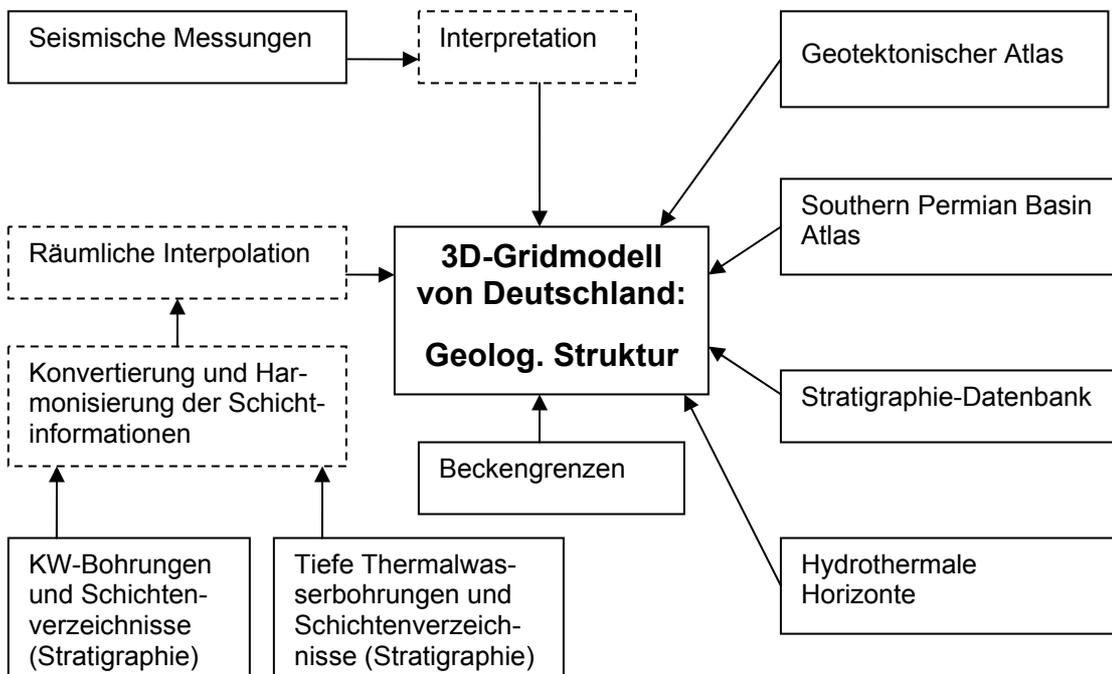


Abb. 5: Geologisches Strukturmodell, abgeleitet aus digitalen Atlanten, Bohrungen, seismischen Messungen und Interpretationen.

Das geologische Strukturmodell setzt sich zusammen aus vorhandenen bzw. im Aufbau befindlichen 3-dimensionalen Atlanten des Untergrundes (Geotektonischer Atlas und Southern Permian Basin Atlas), die jedoch vorzugsweise Norddeutschland überdecken. Bohrungsdaten aus diesen und den restlichen Gebieten Deutschlands, die räumlich interpoliert werden müssen, liefern weitere Informationen. Seismische Profile, die die Untergrundstrukturen entlang der Profilinien wiedergeben, helfen bei der 3D-Konstruktion, wobei die Bohrungsdaten als Stützstellen dienen.

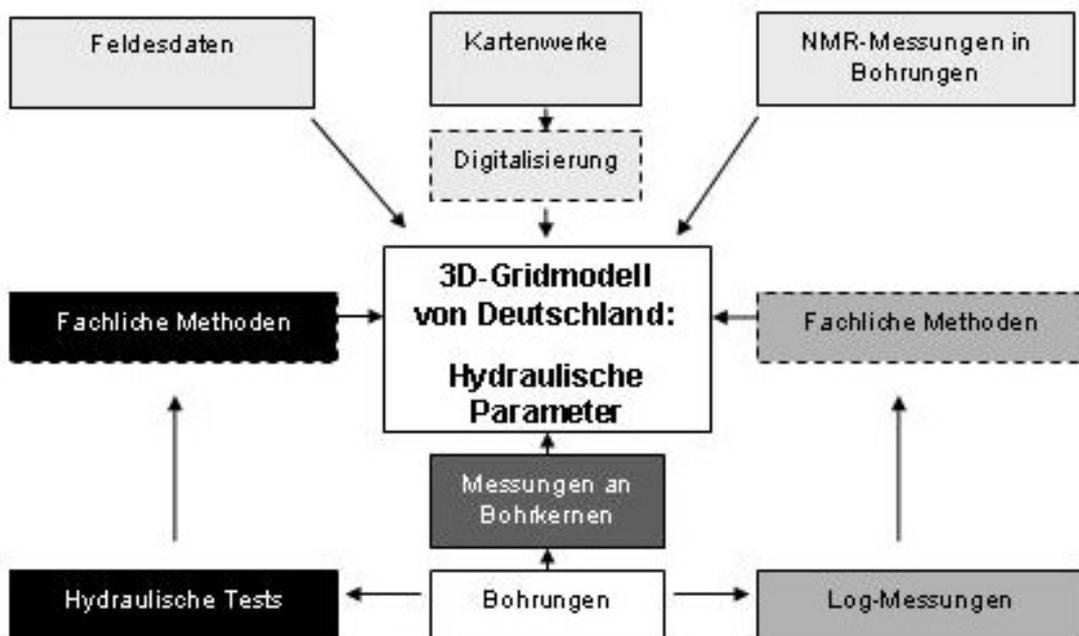


Abb. 6: Hydraulisches Parametermodell mit Porosität, Permeabilität, Transmissivität.

weiß: FIS-Überbau (Stammdaten), hellgrau: Fremddaten, grau: Subsystem Bohrlochgeophysik, dunkelgrau: Subsystem Petrophysik, schwarz: Subsystem Hydraulik

Den geologischen Strukturen – insbesondere den Aquiferen – müssen die geophysikalischen Parameter zugeordnet werden, die in dem Subsystem „Hydraulik“ des FIS GP vorgehalten werden sollen. Die Messungen an aus Bohrungen

gezogenen Kernen liefern Permeabilitäten, hydraulische Tests ergeben Transmissivitäten und indirekt mögliche Förderraten der hydrothermalen Wässer. Weiterhin können Logmessungen in Bohrlöchern (Subsystem Bohrlochgeophysik) wie beispielsweise Leitfähigkeits- und Temperaturmessungen Hinweise auf Zuflüsse salinärer Wässer (und damit auf die Viskosität der Wässer) geben. Durch Messung des scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstandes der Gesteine können Schichtgrenzen bestimmt werden. Die Daten des Subsystems Bohrlochgeophysik ergänzen somit die Inhalte des Subsystems Hydraulik. Weitere Informationen basieren auf den (vertraulichen) Felddaten der KW-Industrie, die u.a. Förderraten und Reserven der KW-Lagerstätten beinhalten.

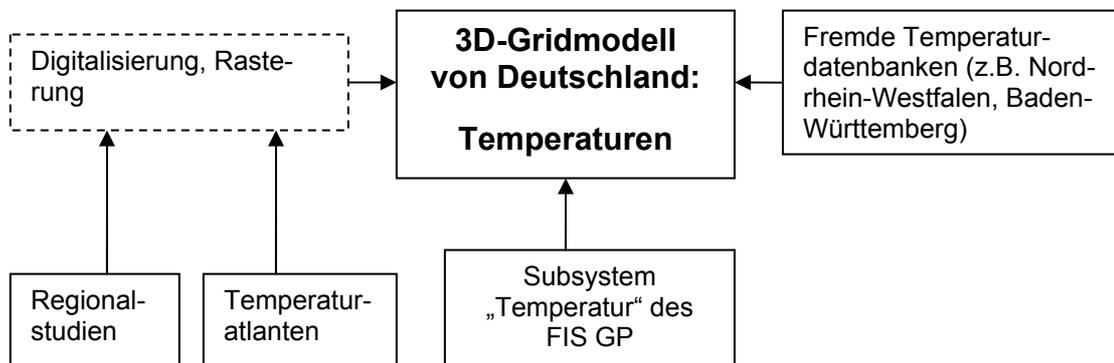


Abb. 7: Temperaturverteilung in den Aquiferen

Das geothermische Potenzial des Untergrundes kann durch die Verbindung der möglichen Förderraten mit der Temperaturverteilung in den interessierenden Aquiferen abgeschätzt werden. Die Temperaturwerte liegen im Subsystem „Temperaturen“ des FIS GP vor. Weiterhin existieren Regionalstudien sowie Temperaturatlanten, die in weiteren Arbeitsschritten digitalisiert und gerastert werden müssen, um mit den geophysikalischen Parametern verschnitten werden zu können (Abb. 7).

Schließlich soll das Informationssystem passive Begleitinformationen bereitstellen. Dazu zählen insbesondere als Messreihe oder als digitales Bild gespeicherte Ausgangsdaten wie Bohrlochmessungen, hydraulische Tests, Temperaturkurven, Kluftdarstellungen, seismische Profile, geologische Schnitte, Kartenausschnitte sowie digitale Dokumente und Berichte (Abb. 8).

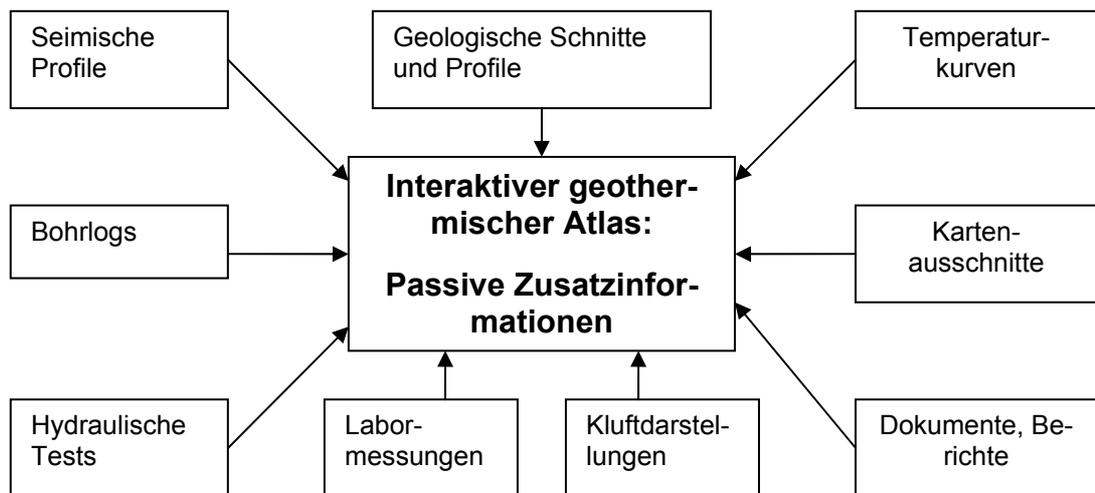


Abb. 8 : Passive Begleitinformationen

## 5.2 Anonymisierung der Daten

Voraussichtlich wird ein Teil der Ausgangsdaten, insbesondere die Schichtenverzeichnisse sowie die Feldes-, Log- und Kerndaten der KW-Industrie, aus rechtlichen Gründen (s. Kap 4.2.3) nicht unmittelbar dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden können. Deshalb bietet sich – unter der Voraussetzung der Zustimmung der KW-Firmen – eine Anonymisierung dieser Informationen an, indem aus den Bohrungsdaten Volumenmodelle interpoliert werden. Die Ausgangsdaten sind damit nicht mehr unmittelbar sichtbar, sondern sind über das Modell generalisiert. Zur Umsetzung der Punktdaten auf ein Volumenmodell werden geostatistische Methoden herangezogen, für die ein reichhaltiges Arsenal an Algorithmen existiert. Beispielsweise werden derartige Methoden zur Modellierung von Lagerstätten eingesetzt.

Da die Datengrundlage quantitativ und qualitativ regional sehr unterschiedlich ist, werden für bestimmte Gegenden Deutschlands aussagekräftige Informationen abrufbar sein, während andere Regionen durch das System ausgeblendet werden müssen, um nicht fälschlicherweise nichtvorhandene Genauigkeiten vorzutäuschen.

### 5.3 Voraussetzungen für das Recherchewerkzeug

Folgende Vorarbeiten müssen geleistet werden, damit die Recherchekomponente auf die bundesweiten Daten zugreifen, diese darstellen und ausgeben kann:

- Erstellung eines 3D-Modells für die Bundesrepublik Deutschland für die geothermisch interessanten geologischen Schichtfolgen insbesondere innerhalb der Beckengrenzen.
- Ergänzung des Subsystems Temperatur.
- Aufbau des Subsystems Hydraulik zur Vorhaltung der geothermisch relevanten Kennzahlen.
- Anfertigung der Tiefenpläne von
  - Temperatur
  - Porosität
  - Permeabilität
  - Geothermischen Ressourcen ( $\text{GJ/m}^2$ )

*in vorzugebenden Tiefen* und/oder für bestimmte Horizonte und Vorfertigung von ArcView-Shapedateien.

- Flächige Interpolation der Kennzahlen auf die *Schichtoberkanten* und Abspeicherung als Isolinien in Shape-Dateien. Hierfür werden folgende Informationen benötigt:
  - Teufe der Aquiferoberfläche
  - Mächtigkeit des Aquifers
  - Temperatur der Aquiferoberfläche
  - Porosität
  - Permeabilität

- Ressourcenkarte der auf die Fläche bezogenen Energie ( $\text{GJ/m}^2$ )
- Ggf. Modellierung von Störungszonen und Projektion der Zonen auf die Schichtoberkanten oder die Tiefenpläne
- Periodische Überarbeitung der Isolinien durch Gewinnung neuer Daten (unter Hinzunahme neuer und weiterer Bohrungsdaten insbesondere der Kohlenwasserstoff-Industrie). Abgleich mit vorhandenen geothermischen Atlanten.

#### **5.4 IT-Lösung der Benutzeroberfläche**

Zu den drei möglichen geothermischen Ressourcen

- Hydrogeothermie
- Nutzung von Störungszonen
- Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR)

soll das Informationssystem in der Endausbaustufe jeweils die für das Fachpublikum relevanten Angaben liefern. Dazu muss der Anwender für diese Nutzungsarten einen Einstieg in das System bekommen oder zwischen diesen Nutzungsarten umschalten können.

Die vorliegende Machbarkeitsstudie konzentriert sich auf die Vermittlung der hydrothermalen Nutzungsmöglichkeiten von Aquiferen. Deshalb wird im Folgenden darauf besonders eingegangen.

Das Recherchewerkzeug soll sowohl für Experten die relevanten Informationen liefern können als auch Entscheidungsträger bedienen, die nicht über das fachliche Hintergrundwissen im Bereich Geothermie verfügen, sich aber dennoch einen Überblick über die geothermischen Ressourcen in einer Region informieren wollen. Deshalb ist es sinnvoll, das Recherchewerkzeug mit zwei unterschiedlich komplexen Zugangsmöglichkeiten auszustatten.

#### **5.4.1 Recherche über ein Eingabeformular**

Die einfachste denkbare Recherchefunktion besteht aus einem Eingabeformular, in dem ein Nutzer beispielsweise einen Gemeindennamen oder eine geographische Koordinate und eine Tiefe eintragen kann, bis zu der eine Bohrung niedergebracht werden soll. Als Ergebnis könnten dann die hydraulischen Kennwerte zusammen mit Verlässlichkeitsinformationen und Vergleichsparametern zur Risikoanalyse geliefert werden. Dabei wäre sicherzustellen, dass in Gebieten, in denen nur spärliche oder gar keine Ausgangsdaten zur Verfügung stehen, eine entsprechende Meldung an den Nutzer gegeben wird. Diese Lösung könnte für Anwender interessant sein, die sich lediglich einen Überblick im Vorfeld einer Nutzung verschaffen wollen.

#### **5.4.2 Recherche über eine interaktive geographische Karte**

Eine aufwändigere Lösung als die Recherche über ein Eingabeformular besteht in der dynamischen Generierung von interaktiven Karten, in denen Fachinformationen mit topographischen Daten kombiniert werden. Dieses komplexe Informationssystem richtet sich an das fachlich versierte Publikum, das die unterschiedlichen abfragbaren Fachdaten zur Entscheidungsfindung heranziehen und einschätzen will.

Die ursprünglich für das FIS GP entwickelte geographische Rechercheoberfläche (FIS GP/Geo, Abb. 9) kann als Grundlage für die geplante Nutzeroberfläche genommen und weiterentwickelt werden. FIS GP/Geo setzt als zentrales Werkzeug den UMN-Mapserver (Open Source Softwareentwicklung i. W. bei der Universität Minnesota) ein. Die gegenwärtigen Funktionalitäten wie stufenloser Zoom, wählbare Kartenhintergründe (Topographie in den Maßstäben zwischen 1:1 Mio. und 1:50.000, eingeblendet je nach Zoomstufe), wählbare Fachdaten-Layer sowie integrierter Gemeinde- und TK25-Blatt-Suche können größtenteils als Grundfunktionen für die Nutzeroberfläche übernommen werden.

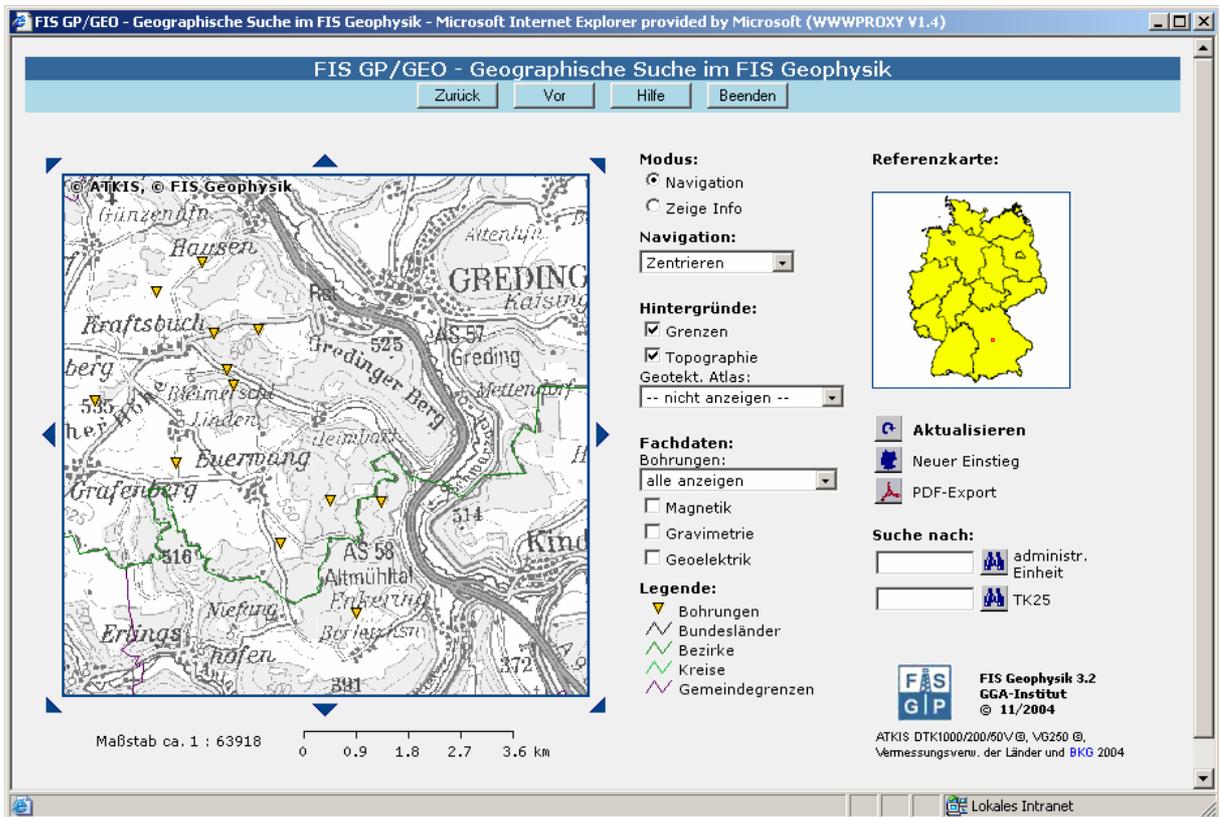


Abb. 9: Screendump der für das FIS GP entwickelten geographischen Rechercheoberfläche.

Auf der linken Seite befindet sich der Kartenausschnitt mit Navigationsschaltflächen, in den durch Aufziehen eines Rechtecks hineingezoomt werden kann. In der Mitte sind Elemente zum Ein- und Ausblenden von Hintergrund- und Fachdaten sowie zum Umschalten zwischen Navigations- und Abfragemodus angeordnet. Auf der rechten Seite sind u.a. eine Referenzkarte und Suchfunktionen nach administrativen Einheiten (z.B. Gemeinden) und nach TK25-Blättern zu erkennen.

Darüber hinaus sollen folgende Funktionalitäten für die Nutzeroberfläche entwickelt werden, die die neuen geothermischen Fragestellungen in den Fokus stellen. Neben verschiedenen *Positionierhilfen* (wie z.B. Abb. 9, rechte Spalte unten rechts, Positionierung auf TK25-Blätter oder Gemeinden), der Anzeige der amtlichen Informationen (Topographie, Siedlungsdichte, Schutzgebiete, Wirtschaftszonen etc., s. Abb. 9, mittlere Spalte: *Hintergründe*) und Luftbildern sol-

len die geowissenschaftlichen Fachdaten einzeln oder zusammen vom Nutzer ausgewählt und innerhalb der interaktiven Karte dargestellt werden können. Diese Informationsebenen werden zunächst – vom Nutzer wählbar – als Rasterdaten oder als Flächen-, Linien- oder Punktgeometrien in der Karte dargestellt. Der Nutzer hat darüber hinaus die Möglichkeit, *Belegobjekte* (s. Abb. 9, mittlere Spalte: *Fachdaten*) abzufragen oder Griddaten für weitere Auswertungen zu exportieren. In Abb. 10 sind einige fiktive Belegobjekte in einem Kartenausschnitt zu sehen.

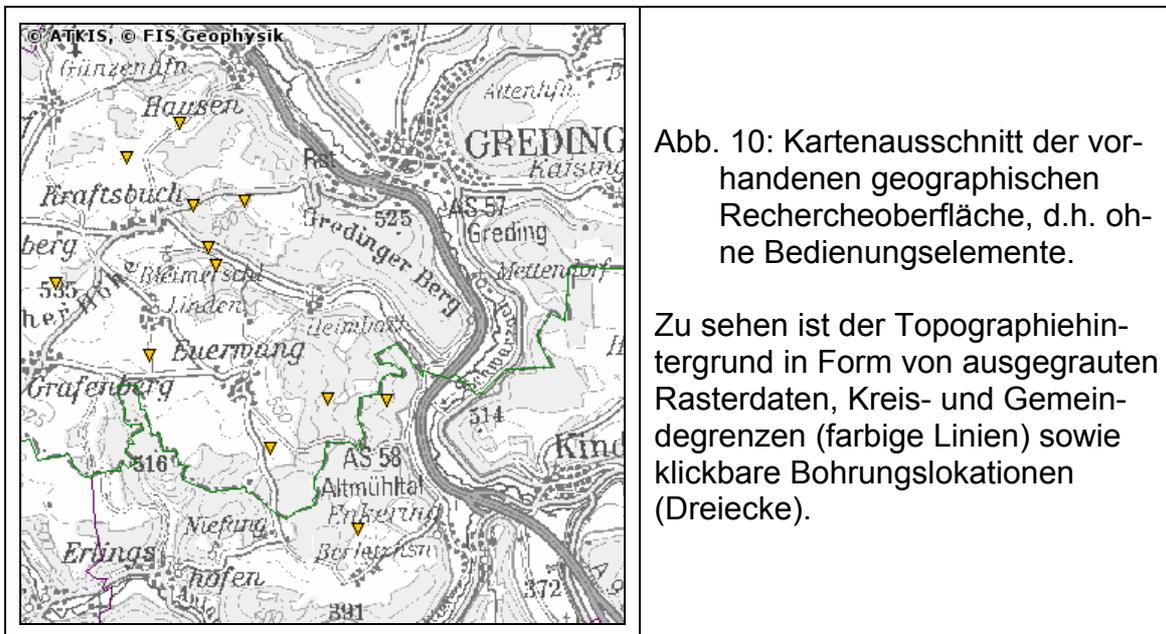


Abb. 10: Kartenausschnitt der vorhandenen geographischen Rechercheoberfläche, d.h. ohne Bedienungselemente.

Zu sehen ist der Topographiehintergrund in Form von ausgegrauten Rasterdaten, Kreis- und Gemeindegrenzen (farbige Linien) sowie klickbare Bohrungslokationen (Dreiecke).

Der Nutzer soll sich bei der geographischen Recherche bis zu einem Maßstab von 1:50.000 in die Kartendarstellung hineinzoomen können. Bei diesem Maßstabsfaktor können die einzelnen Bohrungen graphisch aufgelöst werden, auch wenn sie sich in enger Nachbarschaft befinden. Die Auflösung des sich aus den Modellen ergebenden geothermischen Potenzials für einen solchen Maßstab erscheint jedoch zu groß. Die aufgrund der Dichte des Basismaterials erreichbare Auflösung hängt von den regionalen Untersuchungen ab.

Schaltet der Nutzer in der Bedienungsfläche in den *Abfragemodus* (s. Abb. 9, mittlere Spalte oben: *Modus*), so werden durch Anklicken der Belegobjekte vom System weitere Informationen zu den ausgewählten Belegobjekten dargestellt. Diese sind entweder bereits in einer Datenbank gespeichert oder können bei abgeleiteten Größen auf Anforderung generiert werden. Abhängig von den Rechten, mit denen die einzelnen Objekte belegt sind, können die Daten direkt angezeigt oder aber Identifikationen und Kontaktadressen zum Ersuchen einer Freigabe eingeblendet werden, falls es sich um vertrauliche Informationen handelt.

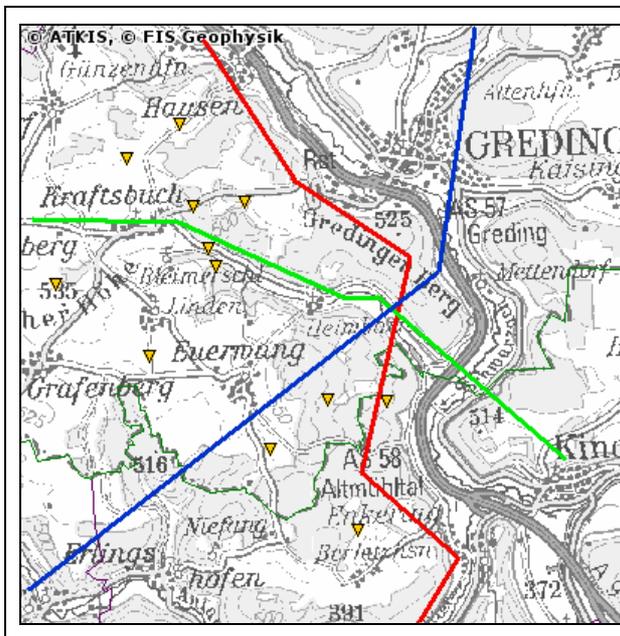


Abb. 11: Fiktiver Kartenausschnitt zusätzlich mit Störungszone (rot), seismischem Profil (hellgrün) und geologischem Vertikalschnitt (dunkelblau).

Anklicken der einzelnen Objekte liefert je nach Rechtsverhältnissen Ansprechpartner oder die hinterlegten Daten.

Über neu anzulegende Schaltflächen soll für den Kartenausschnitt beispielsweise die Transmissivität eingeblendet werden.

Die Belegpunkte der Bohrungen verdeutlichen die Grundlage für die Auswertungsdaten. Da die Bohrungen unregelmäßig über Deutschland verteilt sind, wird der Vertrauensbereich für die abgeleiteten Größen regional recht unterschiedlich ausfallen. Die Verteilung der Belegpunkte hilft deshalb dem Nutzer bei der Einschätzung der Verlässlichkeit der dargestellten Informationen.

Ausgabe	Objekte	Alphanumer. Ausgabe	Graphische Ausgabe	Auswertungen	Downloads
Geographisches Rechercheergebnis: Ausschnitt aus Fachdaten-Layer	Aquifere				
	Temperaturen	Flächenattribute	Kartendarstellung, VRML-Modell	Histogramme, Statistiken etc.	2D-, 3D-Modell, Graphiken (Kartenausschnitt)
	Hydraulische Parameter	Flächenattribute	Kartendarstellung, VRML-Modell	Histogramme, Statistiken etc.	2D-, 3D-Modell, Graphiken (Kartenausschnitt)
	Ressourcen	Flächenattribute	Kartendarstellung, VRML-Modell	Histogramme, Statistiken etc.	2D-, 3D-Modell, Graphiken (Kartenausschnitt)
Anklickbare Belegobjekte	Bohrungen				
	Ausbaudaten	Tabelle, zugeordnete Dokumente	Ausbaudiagramm	—	Daten, Graphiken
	Geologische Daten	Tabelle: Schichtenverzeichnisse, zugeordnete Dokumente	Profilsäulen	—	Daten, Graphiken
	Hydraulische Daten	Tabelle, zugeordnete Dokumente	Hydraulische Tests	—	Daten, Graphiken
	Geophysikalische Daten	Tabelle, zugeordnete Dokumente	1D-Profil, seismische Profile, Logs	—	Daten, Graphiken
	Temperaturen	Tabelle, zugeordnete Dokumente	Temperatur-Teufen-Diagramm	—	Daten, Graphiken
	Seismische Profile	Stammdaten als Tabelle, zugeordnete Dokumente	Profil der Untergrundstrukturen	—	Daten, Graphiken
	Geologische Schnitte	Stammdaten als Tabelle, zugeordnete Dokumente	2D-Schnitte	—	Daten, Graphiken

Tab. 6: Ergebnisdarstellung und weitere Ausgabemöglichkeiten des Auskunftssystems für Aquifere

Bei der Anwendung auf die hydrothermale Nutzung soll sich der Nutzer als wesentliches Rechercheergebnis wahlweise die Temperaturen, hydraulischen Parameter und Ressourcen bezogen

- auf feste Teufeninkremente oder
- auf die einzelnen Aquifere

anzeigen lassen können (Tab. 6).

Für die Anzeige, Ausgabe und Export der Rechercheergebnisse sollen dem Nutzer verschiedene Auswahlmöglichkeiten angeboten werden. Neben der alphanumerischen Ausgabe der Ressourcenparameter soll eine Reihe von Darstellungsmöglichkeiten für die unterschiedlichen, dem System hinterlegten Daten angeboten werden. Aufgrund der komplexen Rechtsverhältnisse an den einzelnen Messungen und Bohrungsdaten (siehe Abschnitt 4.2) müssen allerdings die Zugriffsmöglichkeiten über eine Rechteverwaltung und die Authentifizierung von Nutzern differenziert werden. Das GGA-Institut hat in den vergangenen Jahren umfangreiche Erfahrungen im Hinblick auf diese Problematik gewonnen und deshalb das FIS GP und die zugehörigen Datenzugriffe entsprechend konzipiert.

Weiterhin können für die Auswertung der Informationen z.B. Histogramme gezeichnet und Standardvergleiche bezüglich der regionalen geothermischen Ressourcen in Relation zum Durchschnitts-, Maximal- und Minimalwert gezogen werden (Spalte *Auswertung* in Tab. 6).

Die 3D-Modellierung für die geothermisch interessanten, geologischen Schichtfolgen erlaubt es, regionale Volumenmodelle für die Aquifere anzufertigen. Die Bildung detaillierter Modelle ist allerdings mit einem erheblichen Arbeitsaufwand verbunden und deshalb voraussichtlich nur für ausgewählte, geothermisch bedeutsame Gebiete zu leisten. Derartige Modelle können dann z.B. im VRML-Format exportiert und mit entsprechenden Open Source Werkzeugen (beispielsweise mit der Software LookAt der Open VRML Advancement League oder dem Cosmo Player) oder kommerziellen (Produkt Cortona der Firma ParallelGraphics) Browser-Plugins betrachtet werden. Diese Werkzeuge beinhalten u.a. Zoomfunktionen, das Drehen des Modells, um es von verschiedenen Seiten betrachten zu können, Setzen der Beleuchtungsrichtung etc. (Spalte *Graphische Ausgabe* in Tab. 6).

Für Experten kann eine Exportschnittstelle (Spalte *Download* in Tab. 6) für die 2- und 3-dimensionalen Parametermodelle wie Porosität, Permeabilität, Transmissivität etc. (siehe Kap. 3.2) vorgesehen werden, so dass die Fachleute die Daten importieren, mit eigenen Daten verschneiden und mit den eigenen Modellierungswerkzeugen weiterverarbeiten können.

### **5.5 Ausdehnung des Informationssystems auf Klüfte und HDR**

In einer weiteren Ausbaustufe kann das Informationssystem um das geothermische Potenzial von Kluftsystemen und dem kristallinen oder metamorphen Grundgebirge erweitert werden. Günstige Voraussetzungen für einen Standort ergeben sich durch hohe Wärmeleitfähigkeiten und Untergrundtemperaturen, während die Durchlässigkeit des Gesteins hier eine untergeordnete Bedeutung hat. Das klassische HDR-Verfahren nutzt das kristalline Grundgebirge, in dem künstliche Risse erzeugt werden, wobei heutzutage davon ausgegangen wird, dass diese Nutzungsmöglichkeit auch in dichten Sedimenten besteht.

Um die räumliche Lage des Zielhorizontes zu modellieren, muss deshalb die Obergrenze des Grundgebirges bzw. des dichten Festgesteins aus den Bohrungen und Atlanten abgeleitet werden. Erschwerend ist, dass meist die Zielformation besonders tief liegt und die Datengrundlage schlechter ist; Beckengrenzen, die für die wasserführenden Sedimentgesteine wichtig waren, liegen flacher und spielen jetzt nur noch eine untergeordnete Rolle. Da die tiefen KW- und Thermalwasserbohrungen auch häufig bis ins Festgestein reichen, sind sie in der folgenden Abb. 12 berücksichtigt.

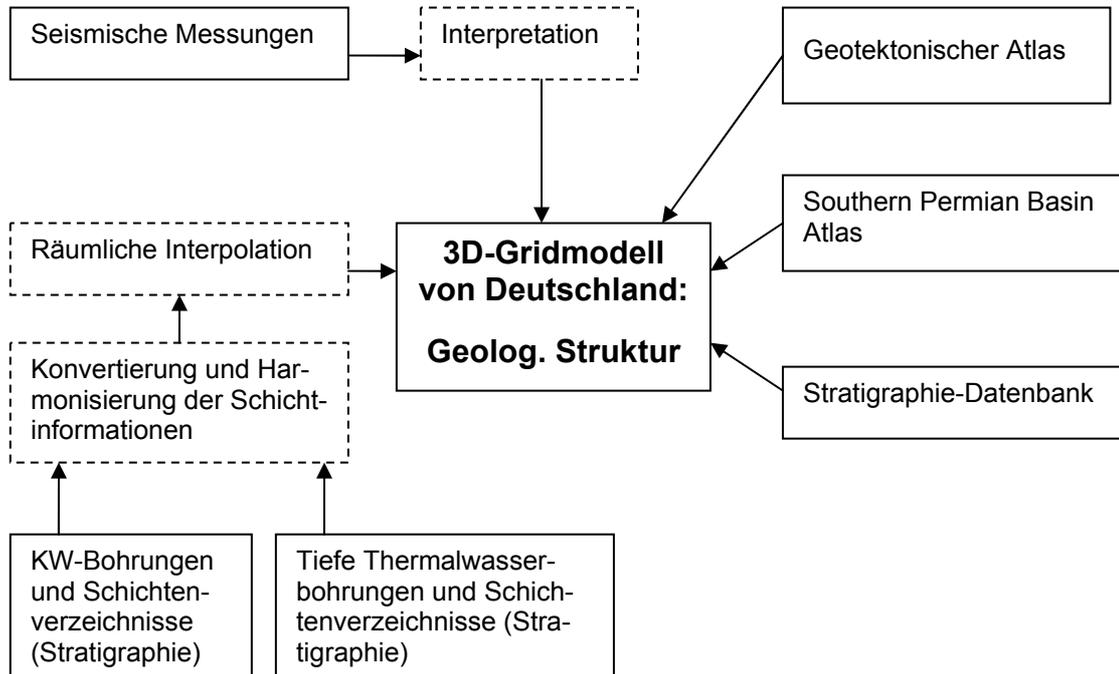


Abb. 12: Geologisches Strukturmodell für das Festgestein, abgeleitet aus digitalen Atlanten, Bohrungen, seismischen Messungen und Interpretationen.

Das hydraulische Parametermodell, wie es für die IT-Lösung der hydrogeothermischen Nutzung konzipiert ist (Abb. 6), muss durch ein gesteinsphysikalisches Parametermodell ersetzt werden. Neben der Temperaturverteilung müssen nun die thermophysikalischen und gesteinsmechanischen Parameter des Festgesteins erfasst werden. Die passiven Begleitinformationen (Abb. 8) werden in gleicher Weise bereitgestellt (Tab. 7).

Ausgabe	Objekte	Alphanum. Ausgabe	Graphische Ausgabe	Auswertungen	Downloads
Geographisches Rechercheergebnis: Ausschnitt aus Fachdaten-Layer	Hot Dry Rock				
	Temperaturen	Flächenattribute	Kartendarstellung, VRML-Modell	Histogramme, Statistiken etc.	2D-, 3D-Modell, Graphiken (Kartenausschnitt)
	Thermophysikalische Parameter	Flächenattribute	Kartendarstellung, VRML-Modell	Histogramme, Statistiken etc.	2D-, 3D-Modell, Graphiken (Kartenausschnitt)
	Gesteinsmechanische Parameter	Flächenattribute	Kartendarstellung, VRML-Modell	Histogramme, Statistiken etc.	2D-, 3D-Modell, Graphiken (Kartenausschnitt)
Anklickbare Belegobjekte	Bohrungen				
	Ausbaudaten	Tabelle, zugeordnete Dokumente	Ausbaudiagramm	—	Daten, Graphiken
	Geologische Daten	Tabelle: Schichtenverzeichnisse, zugeordnete Dokumente	Profilsäulen	—	Daten, Graphiken
	Hydraulische Daten	Tabelle, zugeordnete Dokumente	Hydraulische Tests	—	Daten, Graphiken
	Geophysikalische Daten	Tabelle, zugeordnete Dokumente	1D-Profilе, Seismische Profile, Logs	—	Daten, Graphiken
	Temperaturen	Tabelle, zugeordnete Dokumente	Temperatur-Teufen-Diagramm	—	Daten, Graphiken
	Seismische Profile	Stammdaten als Tabelle, zugeordnete Dokumente	Profil der Untergrundstrukturen	—	Daten, Graphiken
	Geologische Schnitte	Stammdaten als Tabelle, zugeordnete Dokumente	2D-Schnitte	—	Daten, Graphiken

Tab. 7: Ergebnisdarstellung und weitere Ausgabemöglichkeiten des Auskunftssystems für HDR

## **6 Zusätzliche Daten, Forschungsbedarf**

### **6.1 Energiewirtschaftliche Daten**

#### **6.1.1 Ressourcenberechnung**

Eine geothermische Ressource ist der Anteil des zugänglichen Energievorrats, der sich beim gegenwärtigen Stand der Technik dem Untergrund entnehmen lässt und möglicherweise auch eine wirtschaftliche Nutzung erwarten lässt (vgl. Kap. 2.1). Überregionale Abschätzungen der Ressourcen liegen in Atlanten (vgl. Tab. 1) und Berichten /30/ vor. Das geothermische Informationssystem eignet sich nun dazu, im regionalen und lokalen Maßstab die Ressourcen anzugeben. Die Berechnungsvorschriften sind EU-weit vereinheitlicht /4/. Für die genaue Bestimmung der Ressourcen muss die dreidimensionale Lage des geothermisch nutzbaren Körpers bekannt sein. Mit den entsprechenden Parametern lässt sich der Energieinhalt bestimmen. Dazu ist erforderlich, die Temperaturen nicht nur auf eine horizontale Ebene zu interpolieren, sondern, wie in Kap. 3.2.1 beschrieben, für eine beliebige Reservoirgeometrie zu ermitteln.

#### **6.1.2 Produktionsdaten**

Eine Übersicht über geothermische Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung in Deutschland wird vom GGA-Institut geführt und aktualisiert /29/. Allerdings werden i.W. nur die installierten geothermischen Leistungen (durchschnittliche oder maximale Förderrate und Fördertemperatur), die auf Angaben der Betreiber beruhen, erfasst. Daten über die jährliche Energieproduktion bzw. -bereitstellung werden bisher nicht erfasst. Ein Versuch, diese Daten zu erheben, wurde eingestellt, da die Arbeit sich als sehr zeitintensiv herausgestellt hat. Als weiteres Hindernis hatte sich herausgestellt, dass diese Daten i.d.R. nicht frei verfügbar sind und es nach unserem Kenntnisstand keine (gesetzliche) Grundlage gibt, nach der diese Daten zugänglich gemacht werden könnten.

Die EDV-technische Erfassung und Bereitstellung von Daten über die installierten Leistung und Energieproduktion von geothermischen Anlagen in Deutsch-

land stellt kein grundsätzliches Problem da und könnte innerhalb eines geothermischen Informationssystems bewerkstelligt werden.

## **6.2 Kristalliner Untergrund: HDR und Störungszonen**

Für eine Standortbewertung hinsichtlich hydrogeothermischer Nutzung hat sich eine kleine Anzahl zentraler Parameter herauskristallisiert, die essentiell sind. Anhand dieser Daten lassen sich plausible Potenzialabschätzungen treffen und Standortvergleiche durchführen. Beim Reservoirtyp der Störungszonen ist jedoch die Forschung und Technik noch nicht so weit, dass es möglich wäre, in ähnlicher Weise Prognosen abgeben zu können, nicht zuletzt aufgrund der fehlenden Datengrundlage.

Entscheidender Parameter ist neben der Temperatur wieder die Durchlässigkeit, die von vielen Prozessen und Gegebenheiten abhängig ist. Eine zuverlässige Zuordnung struktureologischer Eigenschaften des Untergrundes zu hydraulischen Eigenschaften von Störungen ist derzeit nicht möglich. Die Unsicherheit diesbezüglich reicht von „absolut dicht“ bis „sehr gut durchlässig“. Einzig hydraulische Tests an Störungen selbst geben verlässliche Aussagen. Doch selbst im seltenen Fall, dass hydraulische Tests innerhalb von Störungszonen vorliegen, lassen die Erkenntnisse daraus nicht ohne weiteres auf die hydraulischen Eigenschaften der gesamten Struktur schließen.

Störungen in sedimentären Becken durchschlagen Schichten unterschiedlicher Lithologie, die wiederum unterschiedliches hydraulisches und gesteinsmechanisches Verhalten haben. Tone beispielsweise können Wasserwegsamkeiten begrenzen, da hier Risse nach ihrem Entstehen wieder zufließen oder gar nicht erst mit signifikanter Öffnungsweite entstehen. Wesentlich interessanter sind Störungen im kristallinen oder sedimentären metamorphen Grundgebirge. Hier können sich Störungen mit homogenen und daher besser erfassbaren Gesteinseigenschaften über große Teufenintervalle ausgebildet haben.

Da auch die HDR-Technik vornehmlich das Grundgebirge als Zielhorizont hat, sind die Überschneidungsbereiche bezüglich der Vorerkundung und Charakterisierung des Untergrundes groß. HDR-Technik ist zwar standortflexibel, dennoch ließe sich anhand einer verbesserten Datenbasis optimiert nach geeigneten Standorten suchen. Tiefenlage des Grundgebirges, die Struktur des Trennflächengefüges, Entstehungsdynamik von Störungen, rezente Spannungszustände, Temperatur und lithologische Ausbildung sind hier ebenso relevant. Bestehende Trennflächen zu stimulieren hat große Vorteile, da sie eine natürliche Schwächezone bilden, deren Raumlage im Vorhinein erkundet wurde. Solche Systeme können einen hydraulischen Anschluss an große Wärmetauscherflächen im Untergrund finden. Die Übergänge der Nutzungskonzepte sind fließend, so dass das Vorhandensein einer entsprechenden Datenbasis ein großer Gewinn für beide wäre.

Es gibt eine Reihe weiterer Indikatoren für die Durchlässigkeit von Störungen. Dazu gehören Thermalquellen, aus denen sich sogar quantitative Abschätzungen treffen lassen, sowie Spülungsverluste beim Bohrbetrieb. Ist an Störungen eine rezente Seismizität zu beobachten, kann daraus gefolgert werden, dass die Gesteine kontinuierlich neu aufgebrochen werden; größere Durchlässigkeiten sind dann zu erwarten.

Die Summe aller Kennwerte und Strukturinformationen lässt eine Systematisierung zu. Ziel muss die Erzeugung einer Klasseneinteilung sein, die mit der Wahrscheinlichkeit, hohe Durchlässigkeiten vorzufinden, korreliert. Die Interpolation von unregelmäßig verteilten Punktdaten in wechselhaften Untergrundverhältnissen ist allgemein eine Herausforderung in vielen Teilbereichen der Geowissenschaften. Eine genaue Auflösung des Grundgebirges mit Abgrenzung der regionalen Einheiten würde hierfür wertvolle Randinformationen zur Regulierung liefern.

Aufgabe ist es also, diese unterschiedlichsten Daten zusammenzutragen und in geeigneter Form aufzubereiten und über Kartenwerke bzw. Informationssysteme abrufbar zu machen. Gleichmaßen gilt es zu verstehen, welche Prozesse im Untergrund für die hydraulischen Eigenschaften von Störungen entscheidend sind und daraufhin Klassifizierungskriterien aufzustellen.

### **6.3 Regionale Modellierung (Simulationsrechnungen)**

Um Charakteristika des Untergrundes mit Durchlässigkeiten in Verbindung bringen zu können, sind Regionalstudien notwendig. Dafür eignen sich Gebiete, in denen bereits Strömung entlang von Störungen vermutet wird und für die möglichst umfangreich Informationen zu deren hydraulischen Eigenschaften, Lage und Entstehung vorliegen. Das Projekt „Geothermische Rasteranalyse“ /26/ hat gezeigt, dass es möglich ist, anhand thermischer Anomalien bzw. Signaturen auf die Grundwasserströmung zu schließen. Die Wärmeverteilung im Untergrund kann ein Indikator für Strömungsprozesse sein, die dann ggf. quantifizierbar sind. Angesichts der wenigen unsicheren Methoden, die zur Ermittlung von Grundwasserströmung in großen Tiefen zur Verfügung stehen, ist die „geothermische Methode“ ein wertvoller zusätzlicher Ansatz.

Es müssen Untergrundmodelle entwickelt und die Prozesse in numerischen Modellrechnungen simuliert werden. Beobachtungen von Quellaustritten und Temperaturverteilung können dazu eine Kalibrationsgrundlage liefern. Thermalquellen sind Indikatoren für Wasserwegsamkeiten in großer Tiefe. Erkenntnisse der treibenden Prozesse müssen mit den Charakteristika des Untergrundes in Verbindung gebracht werden. Zu prüfen ist dann, inwieweit diese Zusammenhänge auf andere Standorte übertragbar sind.

### **6.4 Sensitivität von Parametermodellen**

Untergrundparameter, insbesondere hydraulische Parameter, können sehr heterogen verteilt sein. Folglich ist eine flächige Interpolation ohne regulierende

Maßnahmen sehr kritisch. Verschärfend kommt hinzu, dass Bohrungen räumlich sehr unregelmäßig und in vielen Regionen oft sehr spärlich verteilt sind.

Über Fehler von modellierten Strukturen und Prozessen kann nur Auskunft gegeben werden, wenn die Sensitivität des Modells gegenüber der Datenlage herausgestellt wird. Geostatistische Untersuchungen zu Parametern, z.B. Permeabilität, sind also unverzichtbar, will der Nutzer den Wert eines Ergebnisses abschätzen können. Sind Korrelationslängen klein, kann eine Interpolation von Kennwerten in die Fläche oder gar in den Raum nicht mehr sinnvoll erscheinen. Entscheidet man, neue Bohrungen abzuteufen, sollte der Ansatzpunkt so gewählt werden, dass man den größten Informationsgewinn erwarten kann. Die Untersuchung der Sensitivität ganzer Modelle ist Gegenstand derzeitiger und zukünftiger Forschung.

Durch die Kenntnis von statistischen Zusammenhängen zwischen Parametern, z.B. zwischen Porosität und Permeabilität, kann deren Verteilung im Untergrund besser prognostiziert werden. Porositätswerte liegen in großer Zahl vor und können deshalb helfen, Bereiche homogener, hydraulischer Eigenschaften abzugrenzen. Deckt man entsprechende Zusammenhänge zu anderen Parametern auf, erhält man die Möglichkeit, bei Interpolationen regulierend eingreifen zu können und die Belastbarkeit von Modellen zu erhöhen.

## 7 Vorschlag für eine Projektstruktur

In der folgenden Liste sind die grundsätzlichen Arbeitsschritte zum Aufbau eines geothermischen Informationssystems zusammengefasst:

Nr.	Bezeichnung
1	<b>Projektmanagement</b>
1.1	Ressourcenplanung, Kommunikation, Organisation, IT-Koordination
1.2	Konzeptfortschreibung
1.3	Leitfaden (Anwenderhandbuch)
2	<b>Aufbau eines Fachinformationssystems Hydraulik</b>
2.1	Modellierung der Datenbank
2.2	Entwicklung einer Pflegekomponente
2.3	Übernahme vorh. digitaler Datenbestände von den SGD, Wasserwirtschaftsämtern und den KW-Firmen
2.4	Übernahme vorh. analoger Datenbestände von den SGD, Wasserwirtschaftsämtern und den KW-Firmen; Datenerfassung
2.5	Anonymisierung und Einbindung sensibler Fremddaten
2.6	Datenhomogenisierung und Qualitätsmanagement
3	<b>Erweiterung des FIS Geophysik hinsichtlich der im Projekt anfallenden geophysikalischen Datenbestände</b>
3.1	Erweiterung der Datenbank
3.2	Erweiterung der Pflegekomponente
3.3	Übernahme der benötigten Daten aus dem FIS KW
3.4	Einbindung externer anonymisierter Daten (z. B. Grids) in das FIS Geophysik
3.5	Anonymisierung und Einbindung sensibler Fremddaten
3.6	Datenhomogenisierung und Qualitätsmanagement
4	<b>Aufbau von geometrischen 3D-Untergrundmodellen</b>
4.1	Modellierung der Datenbank
4.2	Entwicklung einer Pflegekomponente
4.3	Übernahme der (digitalen) Inhalte des "Geotektonischen Atlas Nordwestdeutschland"
4.4	Übernahme der Inhalte des "Southern Permean Basis Atlas"
4.5	Übernahme geologischer/geothermischer Kartenwerke aus dem Gebiet der ehem. DDR; Digitalisierung analoger Karten
4.6	Übernahme weiterer Daten der Bundesländer
4.7	Datenhomogenisierung und Qualitätsmanagement

- 5 **Prognoseberechnung**
- 5.1 Entwicklung der Theorie für die Ableitung von Fündigkeitsvorhersagen aus Parametern
- 5.2 Erfolgskontrolle der Fündigkeitsvorhersagen
- 6 **Aufbau der Internet-Softwarelösung**
- 6.1 Aufbau der Recherche-Oberfläche
- 6.2 Aufbau der Zugangskontrolle
- 6.3 Entwicklung einer externen Auswertungskomponente (Statistik, 3D-Gridding, horizontale und vertikale Schnittbildung, 2D/3D-Visualisierung, ...)
- 6.4 Erstellung und Aufbereitung digitaler Karten als Fach- und Hintergrund-Layer
- 6.5 Systemdokumentation und technisches Anwenderhandbuch
- 7 **Integration in Informationsverbünde (z.B. Geodateninfrastrukturen)**
- 7.1 Festlegung von Datenaustauschformaten
- 7.2 Nutzung von Web-Diensten (z. B. auf Basis von OGC-Standards) zum automatisierten Zugriff auf Fremddaten
- 7.3 Einrichtung von Web-Diensten zur Unterstützung anderer Geodaten-Infrastrukturen
- 8 **Produktionsdaten**
- 8.1 Modellierung der Datenbank
- 8.2 Erfassen und Aufbereiten von Produktionsdaten
- 9 **Forschungsbedarf**
- 9.1 Kristalliner Untergrund - HDR und Störungszonen
- 9.2 Simulationsrechnungen
- 9.3 Sensitivität von Parametermodellen

Alle Arbeitsschritte können parallel beginnen und sind ineinander verzahnt, so dass nicht einzelne Pakete herausgelöst werden können; eine Ausnahme bilden die reinen Forschungsprojekte, die unabhängig durchgeführt werden könnten. Der Aufbau des geothermischen Informationssystems sollte im Verbund von verschiedenen Institutionen erfolgen; mit eingeschlossen werden sollten

- GGA-Institut (FIS Geophysik),
- NLFb (FIS Kohlenwasserstoffe),
- weitere Staatliche Geologische Dienste (Länderdaten),

- GTN (Daten aus Nordostdeutschland),
- Universitätsinstitute und Forschungseinrichtungen (Forschungsprojekte).

Der Aufbau der Datenbankstrukturen mit den entsprechenden Eingabefeldern und Pflegekomponenten benötigt ein Mindestzeitraum von 2 Jahren. Das anschließende Einpflegen der Daten, die Datenhomogenisierung und Qualitätsüberprüfung erfordert ein weiteres Jahr. Deshalb ist für den Aufbau eines geothermischen Informationssystems ein Zeitrahmen von 3 Jahren notwendig. Eine Aufstellung der zu veranschlagenden Personal- und Sachkosten ist im Anhang beigefügt.

## **8 Zusammenfassung**

Erneuerbare Energiequellen werden in Deutschland im Wärmemarkt vor allem im Mittel- und Niedertemperaturbereich (bis ca. 120 °C) eingesetzt. Unter den regenerativen Energiequellen nimmt die Erdwärme eine Sonderstellung ein, da sie ganzjährig und zu jeder Tageszeit zur Verfügung steht und daher im Grundlastbereich sowohl in der Wärme- wie in der Stromerzeugung eingesetzt werden kann. Moderne Wandlungstechniken, wie ORC-Verfahren und Kalina-Zyklus, ermöglichen heute aber auch 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 vor; drei geothermische Kraftwerke existieren, zwei davon in Österreich und eine in Mecklenburg-Vorpommern. 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, in dem das technische Potenzial, der Stand der Erschließungstechnik, die mögliche Einbindung geothermisch erzeugten Stroms in den Energiemarkt und die Umweltauswirkungen untersucht wurde. Drei Reservoirtypen, Heißwasseraquifere, Störungs-

gen und kristalline Gesteine, wurden als nutzbar eingestuft. Allein für die Heißwasseraquifere, dem Reservoir mit dem geringsten Potenzial, liegt nach TAB-Bericht das Strompotenzial in Deutschland bei 9 EJ; das Wärmepotenzial (thermische Energie) bei der Kraft-Wärme-Kopplung beläuft sich auf 23 EJ. Für den Aufbau einer geothermischen Stromnutzung in Deutschland schlägt der TAB-Bericht neben der Entwicklung einer Aufbaustrategie für die geothermische Stromerzeugung sowie Aufbau und Betrieb von Demonstrationsanlagen auch die Erstellung eines Atlas der geothermischen Ressourcen vor.

Die Machbarkeitsstudie stellt ein grundsätzliches Konzept zur Realisierung eines geothermischen Atlases für Deutschland vor. Wichtigstes Ergebnis ist, dass kein klassischer Atlas (als Kartenwerk von thematischen Karten) erstellt werden soll, sondern ein geothermisches Informationssystem installiert werden muss, das über Internetschnittstellen vorhandene, zu erweiternde oder neu aufzubauende Datenbestände / Datenbanken vernetzt und über entsprechende Internetzugänge genutzt werden soll. In einer ersten Ausbaustufe sollen Daten aus den Aquiferen erfasst werden, die eine direkte Wärmenutzung oder Stromerzeugung zulassen (hydrothermale Geothermie). Der Ausbau des Systems auf die Nutzung von Störungszonen und Grundgebirge sollte später realisiert werden und soll durch entsprechende Forschungsprojekte vorbereitet werden.

Einzelne Grundbausteine für das geothermische Informationssystem sind vorhanden. Was fehlt, ist eine umfassende Datensammlung und -aufbereitung der hydraulischen Daten. Neben der Temperatur ist die mögliche Förderrate der zentrale Parameter für die Fündigkeit geothermischer Bohrungen. Die hydraulischen Daten haben damit eine Schlüsselstellung für die Prognoseberechnung. Der Aufbau eines Fachinformationssystems Hydraulik oder eines Subsystems Hydraulik innerhalb eines bestehenden Fachinformationssystems ist deshalb ein Kernprojekt beim Aufbau des geothermischen Informationssystems. Eine Vielzahl der vorhandenen Daten ist vertraulich. Kurzfristig wird sich die Rechtslage nicht ändern, sodass die Nutzung dieser Daten nur in anonymisierter Form

möglich sein wird. Daher muss dem Arbeitsschritt „Anonymisierung und Einbindung sensibler Fremddaten“ ein besonderes Augenmerk geschenkt werden.

Zur Realisierung des Projektes ist bei Bereitstellung entsprechender Mittel ein Zeitrahmen von mindestens 3 Jahren nötig.

## 9 Literaturverzeichnis

1. SCHULZ, R. & WORMBS, J. (1992): Geothermik - ein Überblick. - In: SCHULZ, R. et al. (Hrsg.): Geothermische Energie - Forschung und Anwendung in Deutschland: 12-23; Karlsruhe (C.F. Müller).
2. HÄNEL, R. (Ed.) (1980): Atlas of subsurface temperatures in the European Community. - Hannover (Th. Schäfer).
3. KATZUNG, G. (Ed.) (1984): Geothermie-Atlas der Deutschen Demokratischen Republik. - Text, 27 Karten; Berlin (Zentrales Geologisches Institut).
4. HURTIG, E., CERMÁK, V., HAENEL, R. & ZUI, V. (Eds.) (1992): Geothermal Atlas of Europe. - Gotha (Geogr.-Kartograph. Anstalt J. Perthes).
5. HÄNEL, R. & STAROSTE, E. (Eds.) (1988): Atlas of geothermal resources in the European Community, Austria and Switzerland. - Hannover (Th. Schäfer).
6. HURTER, S. & HAENEL, R. (Eds.) (2002): Atlas of Geothermal Resources in Europe. - Luxemburg (Office for Official Publications of the European Communities).
7. SCHLOZ, W. & STOBER, I. (2002): Mineral-, Heil- und Thermalwässer, Solen und Säuerlinge in Baden-Württemberg. - LGRB-Fachberichte, 1: 1-15, 1 Abb., 1 Tab., 1 Kt.; Freiburg i. Br.
8. BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE (HRSG.) (2004): Bayerischer Geothermieatlas – Hydrothermale Energiegewinnung. – 104 S., Digitale Karten (CD-Rom); München.
9. FRISCH, H., SCHULZ, R. & WERNER, J. (1992): Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt des Malmkarstes im süddeutschen Molassebecken. - In: SCHULZ, R. et al. (Hrsg.): Geothermische Energie - Forschung und Anwendung in Deutschland: 99-118; Karlsruhe (C.F. Müller).
10. BEER, H. (2002): Geotemperatur in 2000 m und 4000 m Tiefe. – In: LGRB (Hrsg.): Atlas zur Geologie von Brandenburg: Karte 41 und 42; Kleinmachnow (LGRB).

11. GEOTHERMIE NEUBRANDENBURG GMBH (2004): Geothermie in Bremen - Bewertung der geologischen und verfahrenstechnischen Möglichkeiten einer praktischen Nutzung geothermischer Energie im Bundesland Bremen. - Studie mit digitale Karten (CD); Bremen (Bremer Energie-Konsens GmbH).
12. LANDESAMT FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND GEOLOGIE M-V (Hrsg.) (2000): Geologische Karte von Mecklenburg-Vorpommern, Übersichtskarte 1: 500 000 - Geothermie. Güstrow.
13. BEUTLER, G., RÖHLING, H.-G., SCHULZ, R. & WERNER, K.-H. (1994): Regionale Untersuchungen von geothermischen Reserven und Ressourcen in Nordwestdeutschland. – Endbericht, Archiv-Nr. 111 758; Hannover (GGA).
14. SCHULZ, R. & RÖHLING, H.-G. (2000): Geothermische Ressourcen in Nordwestdeutschland. – Z. Angew. Geol. **46(3)**: 122-129; Hannover.
15. GEOLOGISCHER DIENST NRW (2002): Geothermie. Daten zum oberflächennahen geothermischen Potenzial für die Planung von Erdwärmesondenanlagen. – CD mit digitalen Karten; Krefeld (GD NRW).
16. LANDESAMT FÜR NATUR UND UMWELT DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (2004): Geothermie in Schleswig Holstein – Ein Baustein für den Klimaschutz. – Broschüre, 110 S.; Flintbek (LANU).
17. SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2005): Bestandsaufnahme und nutzungsorientierte Analyse des tiefengeothermischen Potentials des Freistaates Sachsen und seiner unmittelbaren Randgebiete. – Studie durch C & E Consulting und Engineering GmbH, Chemnitz; in Vorbereitung.
18. LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESEN SACHSEN-ANHALT (Hrsg.) (2003): Übersichtskarte, Tiefliegende Rohstoffe und Energiestoffe in Sachsen-Anhalt, Blatt I, Energierohstoffe. - Halle (Saale).
19. GEOTHERMIE NEUBRANDENBURG GMBH (1995): Bewertung der geologischen, verfahrenstechnischen und wirtschaftlichen Verhältnisse hinsichtlich der Möglichkeit einer praktischen Nutzung geothermaler Wässer in eng begrenzten Becken- und Randstrukturen am Beispiel Thüringens. - Greifswald.
20. KÜHNE, K., MAUL, A.-A. & GORLING, L. (2003): Aufbau eines Fachinformationssystems Geophysik. – Z. Angew. Geol. **2/2003**: 48-53; Hannover.
21. BALDSCHUHN, R., FRISCH, U. & KOCKEL F. [Hrsg.] (1996): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland 1 : 300 000.- 4 S., 65 Kt., 7 Taf.; Hannover.
22. BALDSCHUHN, R., BINOT, F., FLEIG, S. & KOCKEL, F. (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland und dem Deutschen Nordseesektor -

- Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie. - Geol. Jahrbuch **A 153**: 88 S., 3CDs; Hannover.
23. HOLL-HAGEMEIER, C., SCHÄFER, I. & STOFFELS, M. (2004): Aufbau eines geologischen Informationssystems zur Planung tiefegeothermischer Anlagen. – Die neue Rolle der Geothermie, Tagungsband: 171; Geeste (GtV).
  24. JUNG, R., RÖHLING, S., OCHMANN, N., ROGGE, S., SCHELLSCHMIDT, R., SCHULZ, R. & THIELEMANN, T. (2002): Abschätzung des technischen Potenzials der geothermischen Stromerzeugung und der geothermischen Kraft-Wärmekopplung (KWK) in Deutschland. – Bericht für das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag; BGR/GGA, Archiv-Nr. **122 458**; Hannover.
  25. SCHULZ, R., HÄNEL, R. & WERNER, K.H. (1990): Geothermische Ressourcen und Reserven: Weiterführung und Verbesserung der Temperaturdatensammlung. - Report **EUR 11998 DE**: 75 pp; Luxembourg (Office for Official Publications of the European Communities).
  26. CLAUSER, C., DEETJEN, H., HARTMANN, A., HÖHNE, F., RATH, V., RÜHAAK, W., SCHELLSCHMIDT, R., WAGNER, R., WOLF, A. & ZSCHOCKE, A. (2004): Erkennen und Quantifizieren von Strömung: Eine geothermische Rasteranalyse zur Klassifizierung des tiefen Untergrundes in Deutschland hinsichtlich seiner Eignung zur Endlagerung radioaktiver Stoffe. – Endbericht (9WS 0009 – 8497-2), Geophysica Beratungsgesellschaft mbH, RWTH Aachen und GGA-Institut Hannover.
  27. DIENER, I., PASTERNAK, G. & STOLLBERG, K. (1992): Geologische Grundlagen zur Geothermienutzung in Nordost-Deutschland (Kartenwerk 1:200000), Blatt Rostock/Stralsund. – Berlin (UWG).
  28. WIRTSCHAFTSVERBAND ERDÖL- UND ERDGASGEWINNUNG E.V. (2004): Veröffentlichung geowissenschaftlicher Arbeiten – Publikationsrichtlinie. – Richtlinie WEG, 6 S.; Hannover (WEG).
  29. SCHELLSCHMIDT, R., SANNER, B., JUNG, R. & SCHULZ, R. (2005): Geothermal Energy Use in Germany. - Proceedings World Geothermal Congress 2005: 12 p.; in press.
  30. 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 (TAB).

## 10 Glossar

**BGR:** Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover ist als Fachbehörde des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit die zentrale wissenschaftlich-technische Institution und damit zuständig zur Beratung der Bundesregierung in allen georelevanten Fragestellungen.

**BHT:** Bottom Hole Temperature, Temperaturmessung im Bohrlochtiefsten bei Industriebohrungen unmittelbar nach Einstellen der Bohrarbeiten.

**BLA-GEO:** Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung. Der BLA-GEO ist ein von der Wirtschaftsministerkonferenz eingesetztes Gremium. Ihm gehören Vertreter derjenigen Ministerien von Bund und Ländern an, denen die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD, s.d.) unterstehen. Er tagt regelmäßig in halbjährlichen Abständen. Der BLA-GEO behandelt geowissenschaftliche Probleme, die länderübergreifend sind oder den Bund und die Länder berühren. Er arbeitet den Umweltminister- und der Wirtschaftsministerkonferenzen, bzw. den entsprechenden Amtschefkonferenzen (Staatssekretärkonferenzen) zu. Der BLA-GEO hat Ad-hoc-Arbeitsgemeinschaften in den Bereichen Geologie, Boden, Hydrogeologie, Rohstoffe und Bodeninformationssysteme.

**EEG:** Erdgas-Erdöl GmbH, Mitgliedsfirma des WEG (s.d.).

**EMPG:** ExxonMobil Production Deutschland GmbH, Mitgliedsfirma des WEG (s.d.).

**FIS:** Fachinformationssystem; in Daten- und Methodenbereich gegliederte Datenbankstruktur für fachbezogene Fragestellungen mit Benutzeroberfläche und Import- und Exportfunktionalitäten.

**FIS GP:** Fachinformationssystem Geophysik beim Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben. Inhalte der Datenbank sind geophysikalische Messungen und Stammdaten. Das Fachinformationssystem besteht aus einem Überbau mit den Stammdaten sowie den Subsystemen Bohrlochgeophysik, Gravimetrie/Magnetik, Gleichstrom und Wechselstromgeoelektrik, Petrophysik, Seismik und Geothermik. Internetzugang zum FIS GP erfolgt über die Homepage des GGA-Instituts ([www.gga-hannover.de](http://www.gga-hannover.de)).

**FIS KW:** Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe. Wie vom Lagerstätten-gesetz vorgegeben, übernimmt das NLfB (s.d.) wesentliche Aufgaben bei der Erfassung und Archivierung von erdöl- und erdgasrelevanten Daten. So wird am NLfB das einzige staatliche Archiv bundesweiter Daten der Erdöl- und Erdgasexploration seit Anfang der Kohlenwasserstoff-Exploration gepflegt. Die Aufgaben der Kohlenwasserstoffgeologie des NLfB umfassen u.a. die Organisation und Durchführung des Erdölgeologischen Austauschs mit der Industrie

und die gemeinsame Wahrnehmung von Interessen mit anderen Bundesländern auf diesem Gebiet (KW-Verbund). Alle anfallenden Daten werden im Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe dauerhaft vorgehalten und gepflegt.

**GGA-Institut:** Das Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben in Hannover ist eine außeruniversitäre Forschungseinrichtung für angewandte Geowissenschaften. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt in der Erkundung des nutzbaren Untergrundes sowie in der Entwicklung von Mess- und Auswerteverfahren, die dabei zum Einsatz kommen. Das GGA-Institut ist Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft (WGL) und bildet zusammen mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLFb) das Geozentrum Hannover.

**GIS:** Geoinformationssystem, das computergestützte Werkzeuge und Methoden umfasst, die in der Lage sind, flächenbezogene geographische Daten zu erheben, zu verwalten, abzuändern und auszuwerten.

**GIW:** Geschäftsstelle der Kommission für Geoinformationswirtschaft, angesiedelt bei der BGR (s.d.) in Hannover. Die Kommission setzt sich aus Vertretern nahezu aller Branchen zusammen, die einen Bezug zu Geoinformationen aufweisen. Vertreten sind unter anderem die Informationswirtschaft, die Entsorgungswirtschaft, die Landwirtschaft, die Wasser- und Energieversorger, die Industrie- und Handelskammern, der Bergbau und die Erdöl/Erdgas-Branche, das Handwerk, die Tourismuswirtschaft, die Versicherungswirtschaft und die Immobilienwirtschaft.

Die interdisziplinär besetzte GIW-Kommission soll dazu beitragen, die wirtschaftliche Nutzung der staatlichen Daten mit einem Lagebezug zu erleichtern.

**GTN:** Geothermie Neubrandenburg GmbH. Ein privatwirtschaftliches Unternehmen, das auf den Gebieten Energie- und Wassertechnik in Verbindung mit geologisch-geotechnologischen Fragestellungen tätig ist.

**GVM:** Geophonversenkungsmessung. Ein Verfahren von seismischen Bohrlochmessungen.

**HDR:** Hot-Dry-Rock-Technik zur Stromerzeugung, bei der im kristallinen Gestein durch Verpressen von Wasser Spalten erzeugt werden, über die im Untergrund erhitztes Wasser gefördert werden kann.

**Kalina-Technik:** Die Kalina-Technik zur Verstromung von geothermischen Fluiden ist nach dem russischen Ingenieur Dr. Alexander Kalina benannt. In konventionellen Dampfturbinen wird ein Gemisch aus Wasser und Ammoniak verwendet, das einen Dampfdruck unter 100 °C hat.

**KW:** kurz für Kohlenwasserstoff.

**Mapserver:** GIS-Applikationen im Inter- oder Intranet – kurz WebGIS – machen Informationen für eine große Zahl von Anwendern zugänglich, sind plattformunabhängig und erfordern keine Installation proprietärer und kostenintensiver Desktop-GIS-Software (s.d.). Zur Anzeige der GIS-Anwendungen ist lediglich ein Internet-Browser erforderlich. WebGIS bedeutet in der Folge, dass der Nutzer zumindest eine dynamische Karte sieht, sich in dieser frei bewegen kann und diese selbst, aufgrund einer bestimmten Auswahl an Themen, frei gestalten kann. Generell muss dazu eine serverseitige Architektur – im einfachsten Fall ein Webserver und ein Kartenserver (Mapserver) – aufgebaut werden. Der Nutzer (Client) kann somit mit Hilfe einer Benutzeroberfläche navigieren, indem eine Anfrage an den Mapserver geschickt wird, und dieser eine neue Karte produziert, welche vom Webserver an den Client zurückschickt wird. Weiterhin ist die Abfrage von Eigenschaften angezeigter oder hinterlegter Objekte möglich. Infolge der Standardisierungsbemühungen des Open Geospatial Consortiums (OGC, s.d.) können sogar Daten aus verteilten Quellen z.B. über Web Map Services eingebunden werden.

**NLfB:** Das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung in Hannover ist eine obere Landesbehörde im Geschäftsbereich des Niedersächsischen Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr. Es berät die Kunden aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft in allen geowissenschaftlichen Fragestellungen, die regional das Land Niedersachsen betreffen.

**OGC:** Das Open Geospatial Consortium ist eine 1994 gegründete gemeinnützige Organisation, die sich zum Ziel gesetzt hat, die Entwicklung raumbezogener Informationsverarbeitung (insbesondere von georeferenzierten Daten) auf Basis allgemeingültiger Standards zum Zweck der Interoperabilität festzulegen. Dabei baut sich das OGC aus Mitgliedern von Regierungsorganisationen, privater Industrie und Universitäten auf, deren Mitgliedschaft im OGC kostenpflichtig ist. Die Entwicklung offener Standards beruht auf der Basis frei verfügbarer Spezifikationen, die von abstrakten Beschreibungen des Aufbaus, der Komponenten und der Funktionsweise eines dienstebasierten GIS (Geographisches Informationssystem, s.d.) im Sinne des OGC bis hin zu detaillierten Spezifikationen der Implementation der Dienste reichen. Hierbei wird jedoch nicht die konkrete Umsetzung der Software vorgeschrieben, sondern die verschiedenen Schnittstellen eines Dienstes, dessen Eigenschaften und Verhalten festgelegt.

**ORC:** Der Organic Rankine Cycle zur Verstromung von geothermischen Fluiden ist benannt nach dem schottischen Ingenieur William Rankine. Das Prinzip ist das gleiche wie bei konventionellen Dampfturbinen. Anstelle von Wasser werden organische Stoffe wie Pentan verwendet. Das Gemisch hat einen Dampfdruck deutlich unter 100 °C.

**PI:** Produktivitätsindex; Förderrate von erhitztem Wasser in Abhängigkeit von der Druckabsenkung.

**PK:** Personenkreis; von den SGD jeweils für einen festgelegten Zeitraum eingesetzte Gruppen zur gemeinsamen Erarbeitung aktueller geowissenschaftlicher Fragestellungen.

**PK oberflächennahe Geothermie:** Da bei den SGD ein starkes Interesse besteht, sich um das Thema Geothermie auf länderübergreifender Ebene zu bemühen, wurde am 9.12.04 ein Treffen beim Landesamt für Umweltschutz in Saarbrücken organisiert. Bei dieser Zusammenkunft berichteten Vertreter der SGD über die jeweiligen Aktivitäten in den Ländern in Bezug auf die oberflächennahe Geothermie und die tiefe Geothermie. Die konstituierende Sitzung für den PK oberflächennahe Geothermie wird voraussichtlich Anfang Februar 2005 stattfinden. Der PK oberflächennahe Geothermie wird sich mit der Nutzung des geothermischen Potenzials der oberen 150 m beschäftigen.

**PK tiefe Geothermie:** Bei der Initiativsitzung der SGD-Vertreter am 9.12.04 in Saarbrücken (siehe PK oberflächennahe Geothermie) wurde ebenfalls die Einrichtung des PK tiefe Geothermie beschlossen. Die konstituierende Sitzung wird voraussichtlich Anfang März 2005 stattfinden. Der PK tiefe Geothermie wird sich mit der Nutzung des geothermischen Potenzials der tiefliegenden Aquifere und des Festgesteins beschäftigen.

**Poroperm:** zusammengesetzt aus Porosität und Permeabilität, d.h. Gesteinseigenschaften für die Durchlässigkeit von Flüssigkeiten.

**RWE Dea:** Mitgliedsfirma des WEG (s.d.).

**SGD:** Staatliche geologische Dienste Deutschlands, d.h. die geologischen Landesämter der einzelnen Bundesländer sowie die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe als nachgeordnete Behörde des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit.

**SPB:** Southern Permian Basin Atlas aufgrund einer gemeinsamen Initiative der Erdgas- und Erdöl-Industrie und der Geologischen Dienste von Belgien, Großbritannien, Polen, der Niederlande, Dänemark und Deutschland. Der Atlas wird das ganze Südliche Permbecken umfassen, d.h. sich vom Osten Englands bis zur russisch-polnischen Grenze erstrecken und einen Breitenbereich von 50° bis 56°N überdecken. Der Atlas wird die geologische Entwicklung und das KW-Potenzial für jedes stratigraphische Intervall widerspiegeln. Die paläographische und tektonische Entwicklung wird im Rahmen der wesentlichen stratigraphischen Intervalle vom präkambrischen Basement bis zum Holozän umfassen. Der Atlas wird voraussichtlich im Maßstab 1:1 Mio. sowohl in Papier- als auch elektronischer Form publiziert werden.

**TK-Blatt:** Amtliche Topographie der Landesvermessungsämter bzw. des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. Die amtlichen topographischen Daten werden u.a. in den Maßstäben 1:1 Mio., 1:500.000, 1:200.000, 1:50.000 und

1:25.000 erhoben. Die Abkürzung TK50 kennzeichnet die amtliche Topographie im Maßstab 1:50.000.

**UBA** : Umweltbundesamt, wissenschaftliche Umweltbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).

**UKOOA**: UK Offshore Operators Association; die repräsentative Organisation für die Offshore Öl- und Gasindustrie im Vereinigten Königreich. Die Mitglieder sind Firmen, die von der Regierung zur Ausbeutung der Öl- und Gasvorkommen in den Hoheitsgewässern des Vereinigten Königreiches lizenziert sind.

**UMN-Mapserver**: Der UMN-Mapserver speziell ist eine Open Source Softwareentwicklung eines Mapservers, die i.w. bei der Universität Minnesota stattfindet.

**VRML**: Virtual Reality Modeling Language; Seitenbeschreibungssprache ähnlich der Websprache HTML, mit dem Unterschied, dass keine Hypertextdokumente, sondern dreidimensionale Szenen beschrieben werden.

**VSP**: Vertical Seismic Profiling; ein Verfahren von seismischen Bohrlochmessungen.

**WEG**: Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung in Hannover.

## Anhang

Der Anhang enthält eine Abschätzung der zu veranschlagenden Personal- und Sachkosten für den Aufbau eines geothermischen Informationssystems (vgl. Kap. 7). Tab.1 fasst die grundsätzlichen Arbeitsschritte und den erforderliche Personalbedarf in Personenmonaten zusammen. Tab. 2 listet das Personal mit den notwendigen Qualifikationen auf. In Tab. 3 wird der finanzielle Bedarf abgeschätzt.

Alle Arbeitsschritte können parallel beginnen und sind ineinander verzahnt, so dass nicht einzelne Pakete herausgelöst werden können. Eine Ausnahme bilden die reinen Forschungsprojekte, die unabhängig durchgeführt werden könnten. Ebenso kann die Bearbeitung von Produktionsdaten gesondert erfolgen. Ein Balkanplan ist nicht erforderlich.

Die Personalkosten wurden mit Durchschnittswerten nach BAT abgeschätzt. Die Sachkosten liegen in der Größenordnung von 20 % der Personalkosten, was Erfahrungswerten von ähnlichen Forschungsprojekten entspricht. In den Abschätzungen sind keine Gemeinkosten (Overhead) enthalten.

Der Aufbau der Datenbankstrukturen mit den entsprechenden Eingabeformularen und Pflegekomponenten benötigt ein Mindestzeitraum von 2 Jahren. Das anschließende Einpflegen der Daten, die Datenhomogenisierung und Qualitätsüberprüfung erfordert ein weiteres Jahr. Deshalb ist für den Aufbau eines geothermischen Informationssystems ein Zeitrahmen von 3 Jahren notwendig. Da ca. 80 % der Kosten Personalkosten sind, ist zu erwarten, dass der Mittelabfluss gleichmäßig erfolgt.