

# GIS-gestützte Bewertung des tiefergeothermischen Potentials im Freistaat Sachsen

Helmut-Juri Boeck<sup>1</sup>, Thomas Lange<sup>1</sup>, Petra Schneider<sup>2</sup>

<sup>1</sup>C&E Analytik und Umweltdienstleistungs- GmbH, Jagdschänkenstraße 52, 09117 Chemnitz, j.boeck@cue-chemnitz.de

<sup>2</sup>C&E Consulting und Engineering GmbH, Jagdschänkenstraße 52, 09117 Chemnitz

Im Rahmen der im Referat Rohstoffgeologie des LfUG entwickelten und vom SMUL bestätigten „Geothermiestrategie Sachsen“ erfolgte von Januar 2004 bis November 2005 eine Erfassung vorhandener tiefergeothermischer Meßdaten und deren Aufbereitung. Dies geschah mit dem Ziel, eine Neubewertung des tiefergeothermischen Potentials im Freistaat Sachsen vorzunehmen und damit für mittelfristig erwartete Tiefergeothermieprojekte seitens aktueller Ausgangsdaten gewappnet zu sein. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde auf Basis der recherchierten Daten eine Temperaturextrapolation für die Gesamtfläche des Freistaats Sachsen vorgenommen. Aufgrund der begrenzten Datenlage mußte dazu ein spezifisches Modell entwickelt werden, welches auf zusätzlichen, vorhandenen Datenbeständen (digitale geologische Karte, DHM, Oberflächentemperaturen, geophysikalische Daten usw.) basiert.

Within the framework of the Department of Geology of Resources of LfUG developed and confirmed by SMUL “Geothermal Strategy of Saxony” established from January 2004 to November 2005 a correlation of existing geothermal data and their methods of establishment.

The aim of gathering this information was to establish a new valuation of the deep geothermal potential of Saxony as the starting point for further deep geothermal projects. Within the project a temperature-extrapolation had to be established for the whole area of Saxony based on initial data. Due to the limited nature of the data available a specific model had to be developed, which was based on: existing geothermal data, additional values, like surface temperatures, geophysical data, etc.

---

## 1 Überblick zum Kenntnisstand

Im Rahmen der im Referat Rohstoffgeologie des LfUG entwickelten und vom SMUL bestätigten „Geothermiestrategie Sachsen“ erfolgte eine Neuerfassung vorhandener tiefergeothermischer Meßdaten und deren Aufbereitung. Dies geschah mit dem Ziel, eine Neubewertung des tiefergeothermischen Potentials im Freistaat Sachsen vorzunehmen und damit für mittelfristig erwartete Tiefergeothermieprojekte seitens aktueller Ausgangsdaten gewappnet zu sein.

Das Projekt umfaßte im Wesentlichen drei Schwerpunkte:

- Schritt 1: Datenrecherche und datenbankkompatible Datenerfassung
- Schritt 2: Entwicklung eines vereinfachten geologischen Modells als Grundlage der Extrapolation der Temperaturen

- Schritt 3: Datenbearbeitung und Temperaturextrapolation bis 5000 m Tiefe unter Gelände

Der Schwerpunkt wurde bei der Datenrecherche auf diejenigen Meßwerte gelegt, die lagemäßig sicher zuordenbar waren. Diese, aus unterschiedlichen Quellen stammenden und in unterschiedlicher Form vorliegenden Meßdaten wurden in einer zu vorhandenen Datenbanken des LfUG kompatiblen Form erfaßt und stehen damit für die weiterführende Bearbeitung zur Verfügung.

Die Datenlage ist insgesamt als nicht befriedigend einzuschätzen. Recherchiert wurden für Sachsen einschließlich seiner Randgebiete:

- Gesamtzahl von Meßpunkten: 124
- Temperaturmessungen unterschiedl. Art: 101
- Wärmeflussdichtebestimmungen: 64
- Wärmeleitfähigkeitsmessungen: 42
- Wärmekapazitätsbestimmungen: 4

Diese Messpunkte verteilen sich zudem sehr ungleich über die Gesamtfläche des Freistaats. So häufen sich Meßpunkte in denjenigen Regionen, in denen bereits früher geologische Erkundungen auf verschiedene Rohstoffe vorgenommen wurden. Dies betrifft:

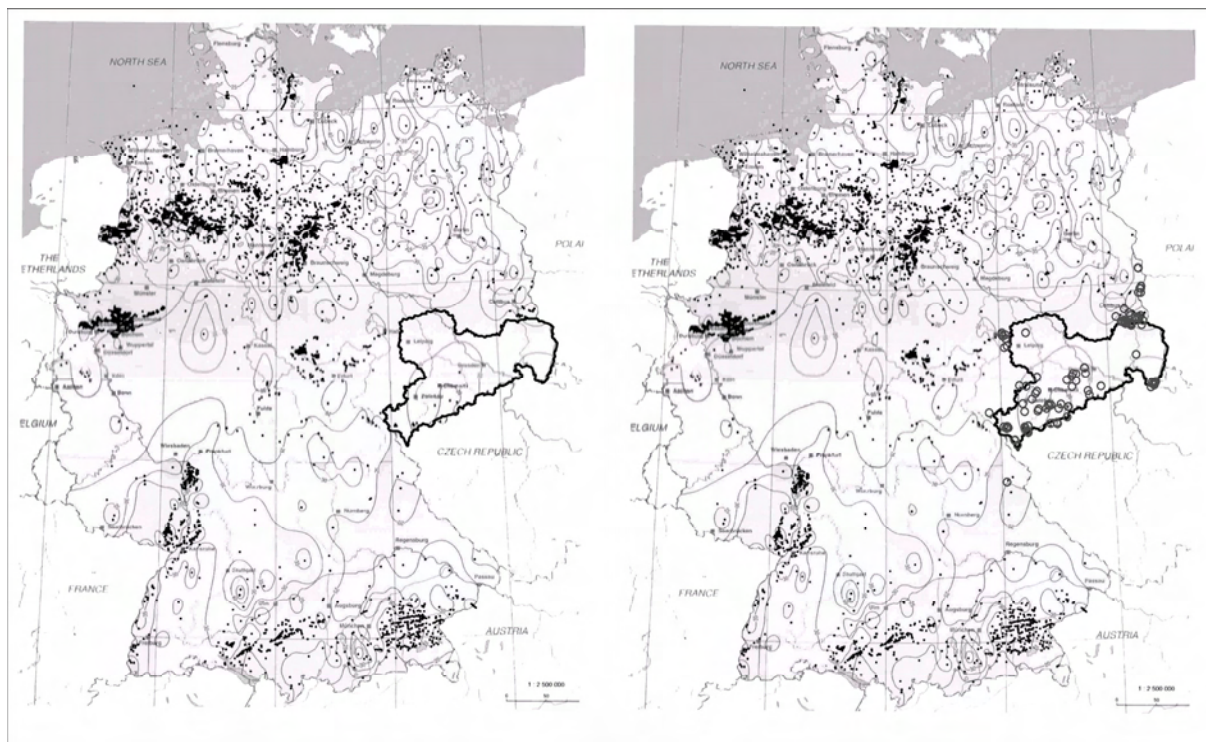
- Zinn- und Wolframerz erkundung im Vogtland
- Zinn- und Buntmetallerz erkundung im Raum Ehrenfriedersdorf, Freiberg und Altenberg
- Uranerz erkundung im Bereich der Störungszone Gera-Jachymov
- Im Rahmen der Braunkohlenerkundung gibt es einzelne Bohrungen mit Temperaturmessungen im Berzdorfer Becken und im Raum Halle-Leipzig (jedoch nur geringe Aufschlußtiefe)
- Kupferschiefer erkundung im Raum Spremberg (Brandenburg)

Darüber hinaus wurden nur in einzelnen tieferen Bohrungen Temperaturmessungen vorgenommen, wie z.B. in Baruth und Schladebach. Die Datensammlung wurde komplettiert durch Meßdaten aus tiefen Bohrungen im Raum Guben und Eisenhüttenstadt im Norden und durch Tempera-

turlogs der KTB im Süden, sowie durch Altdaten aus Untertage-Temperaturmessungen (u.a. aus SCHÖBLER & SCHWARZLOSE 1959; REICH 1832). Innerhalb der Bearbeitungszeit gelang es nicht, Meßdaten aus den Nachbarländern Polen und Tschechien zu erhalten.

Die Aufschlusstiefe erreicht im Freistaat Sachsen und seiner Umgebung maximal 2000 m. In großen Flächenanteilen Sachsens, insbesondere im Norden und Osten, fehlen Meßdaten gänzlich. Dies betrifft nicht nur die Regionen, sondern auch ganze Gesteinsgruppen, zum Beispiel den großen Komplex des Lausitzer Granodiorits, der in der Vergangenheit – im Hinblick auf geothermische Untersuchungen – kaum im Blickpunkt wirtschaftlichen und geologischen Interesses stand.

Als Konsequenz aus der geschilderten Datensituation wurde in enger Abstimmung mit der Landesbehörde als Auftraggeber entschieden, daß eine Interpolation zwischen den Meßpunkten keinen zufriedenstellenden Erkenntnisgewinn gegenüber früheren Arbeiten bringen kann. Eine neue Modellierung der Temperaturänderungen im Untergrund sollte daher unter Bezug auf ein geologisches Untergrundmodell erfolgen.



**Abb. 1: Vergleich der Datenlage in Sachsen mit anderen Regionen Deutschlands, rechts hervorgehoben: recherchierte Meßpunkte im Freistaat Sachsen und seiner Umgebung (Quelle: GEOTHERMAL ATLAS OF EUROPE 1996).**

## 2 Modell und Datenbearbeitung

Im Rahmen des Vorhabens war auf Basis der recherchierten Daten eine Temperaturextrapolation für die Gesamtfläche des Freistaats Sachsen vorzunehmen. Aufgrund der begrenzten Datennlage mußte dazu ein spezifisches Modell entwickelt werden, welches auf zusätzlichen, vorhandenen Datenbeständen (u.a. digitale geologische Karte, geophysikalische Daten, DHM, Oberflächentemperaturen, usw.) basiert.

Eine wesentliche Vereinfachung dieses Modells stellt seine Beschränkung auf nur sechs typische Gesteinsgruppen dar. Für diese „relevanten Gesteinsgruppen“ wurden aus den recherchierten Daten korrelativ Start- und Materialparameter (Wärmeflußdichte, Wärmeleitfähigkeit, Wärmeproduktion) abgeleitet und in das Modell eingesetzt. Zu „Gesteinsgruppen“ wurden zusammengefaßt:

1. „poröse Sedimente“ (Tertiär, Quartär)
2. „wenig permeable Sedimentite und Metamorphite“ (ältere Sedimentite und niedrigmetamorphe Schiefer)
3. Granodiorit
4. Gneise und Granulite
5. Ältere bzw. undifferenzierte Granite und deren Ergußäquivalente

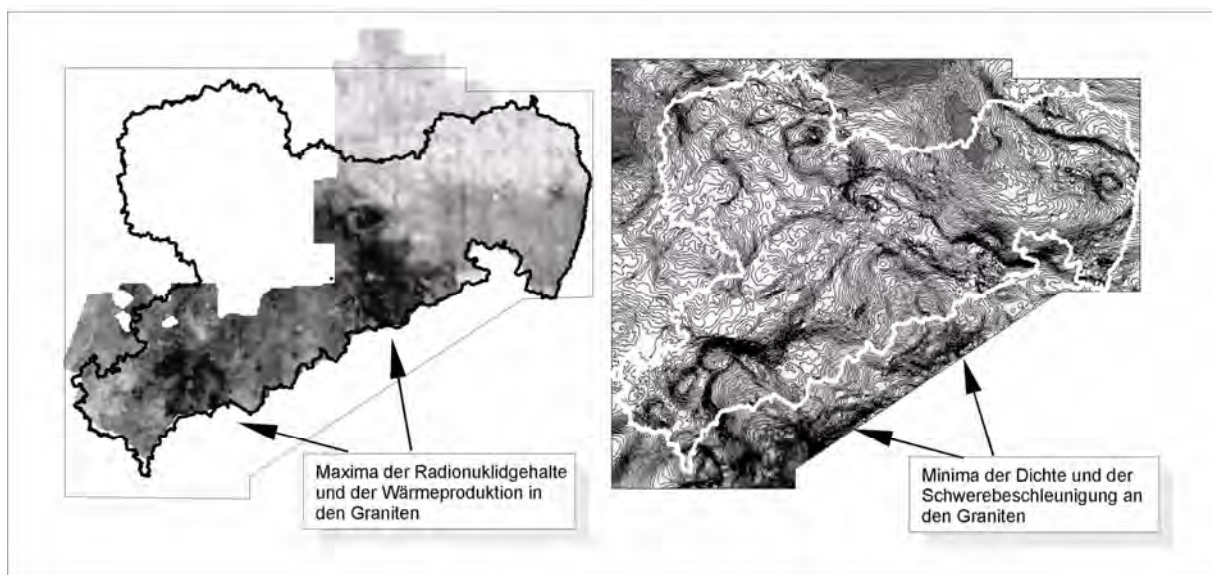
6. Jüngere bzw. hochdifferenzierte Granite und deren Ergußäquivalente

Besonders in den ersten beiden Gruppen sind sehr viele lithologisch und stratigraphisch unterschiedliche Gesteine zusammengefaßt. Diese starke Vereinfachung erscheint jedoch zulässig, da im überwiegenden Flächenanteil des Freistaats und bereits in relativ geringen Tiefen kristalline Gesteine vorherrschen.

Für das geologische Modell wurde als Kompromiß zwischen Auflösung des Untergrundabbildes und handelbarer Datenmenge eine Rasterung von 1 km x 1 km gewählt. Für die Fläche der geologischen Karte Sachsens einschließlich seiner Randgebiete resultieren daraus bereits zirka 31.000 Rasterpunkte. Durch das gewählte Raster werden aber kleinräumige Strukturen – wie tektonische Störungen – vernachlässigt. Die Vernachlässigung des stoffgebundenen Wärmetransports durch Zirkulation entlang von Störungssystemen stellt einen Nachteil dieses Modells dar.

Unter Einbeziehung der geologischen und geophysikalischen Kenntnisse der Abteilungen des LfUG wurden schließlich – ausgehend von der digitalen geologischen Karte der Oberfläche – sieben Schnittebenen als Grundlage für die Modellberechnung in Tiefen bis 5000 m unter Gelände erzeugt.

Für jede Gesteinsgruppe wurden anschließend – ausgehend von den vorhandenen Daten – korre-



**Abb. 2:** Beispiele einbezogener geophysikalischer Daten: links: aus vorhandenen gamma-spektrometrischen Befliegungsdaten abgeschätzte Wärmeproduktion der oberflächennah anstehenden Gesteine, rechts: Schwerekarte Sachsens (Datenquelle: LfUG); Granite und deren Ergußäquivalente zeichnen sich zum einen durch erhöhte Radionuklidgehalte und erhöhte Wärmeproduktion, zum anderen durch geringere Dichte und Schwereminima ab.



lativ tiefenabhängige Parametersätze für die Materialparameter Wärmeleitfähigkeit und Wärmeproduktion bestimmt.

Während die Jahresmitteltemperaturen an der Oberfläche flächendeckend digital verfügbar sind, fehlt dagegen eine vergleichbare Datenbasis für den Startwert der Wärme flu ß dichte an der Oberfläche. Deshalb mußte auch dieser Parameter durch Korrelation der vorhandenen Me ß werte mit den definierten sechs Gesteinsgruppen bestimmt werden. Dieses Vorgehen stellt die wesentliche Fehlerquelle der nachfolgenden Berechnungen dar.

Durch iterative Variation der Parameter wurde immerhin eine Anpassung der berechneten Temperaturverteilung an die – soweit vorhanden – gemessenen Temperaturen erreicht, bei der in 1000 m Tiefe ein mittlerer Fehler von 5° unterschritten wurde.

Anschließend wurden mit dem so bestimmten „wahrscheinlichen“ Parameteransatz die bis in 5000 m Tiefe zu erwartenden Temperaturen ext-

rapoliert. Die Berechnung der Temperaturen erfolgte für die sieben oberflächenparallelen Schnittebenen. Die Resultate sind Form von Excel-Tabellen und Karten beim LfUG gespeichert.

### 3 Resultate

Das berechnete Temperaturniveau stimmt mit den Resultaten früherer Studien in zufriedenstellendem Maße überein. Aufgrund der relativ genauen Einbeziehung der Geologie sind die berechneten Temperaturkarten erheblich detaillierter als bisherige Modelle für den Freistaat. Je nach Parameterwahl werden in 5000 m Tiefe unter Gelände im Mittel über die Gesamtfläche des Freistaats Temperaturen zwischen 110°C und 130°C erreicht. Dies entspricht den Erwartungen innerhalb eines Komplexes überwiegend sehr alter (Paläozoikum und älter), kristalliner Gesteine. Temperaturmaxima werden insbesondere in den Granitregionen erreicht, jedoch zeigte die Modellierung, daß dazu bestimmte Voraussetzungen gegeben sein müssen.

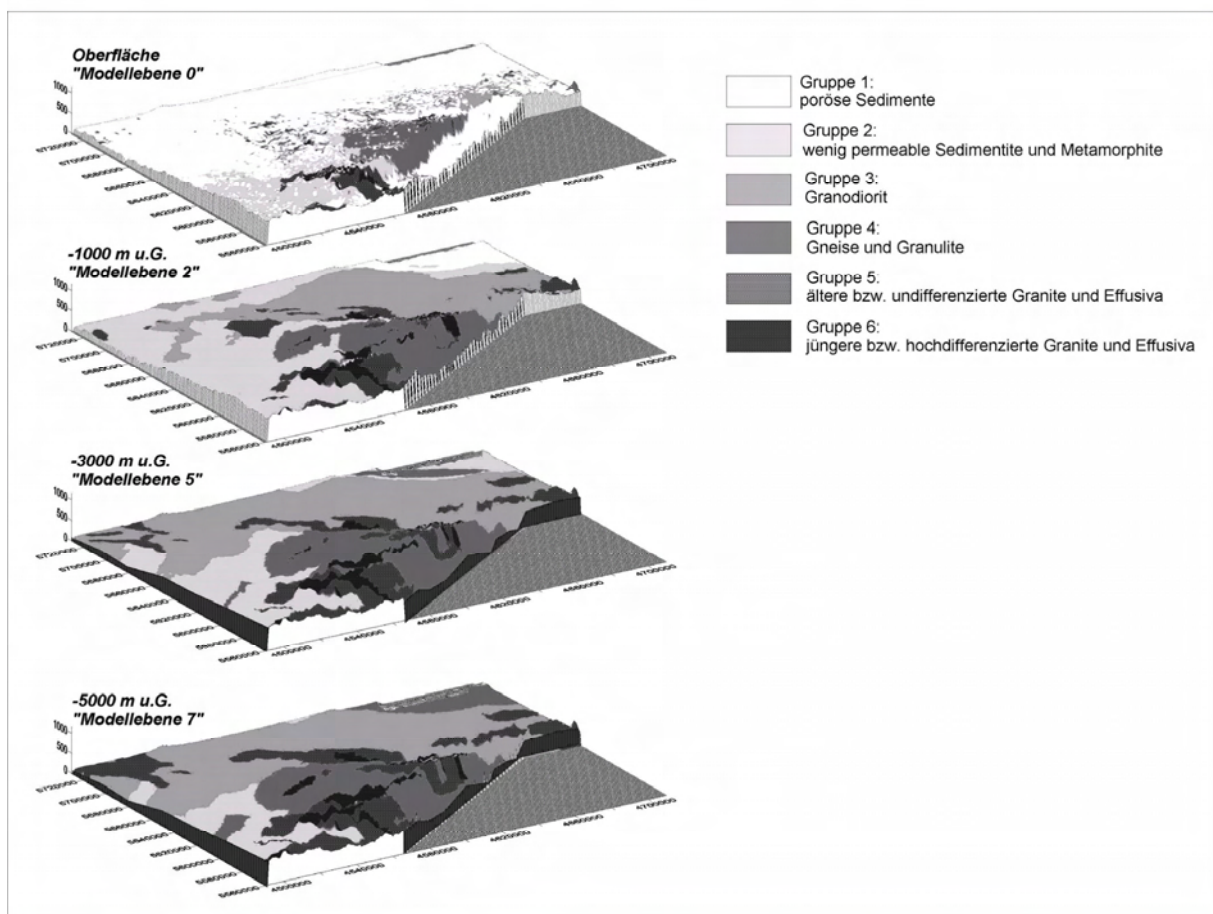
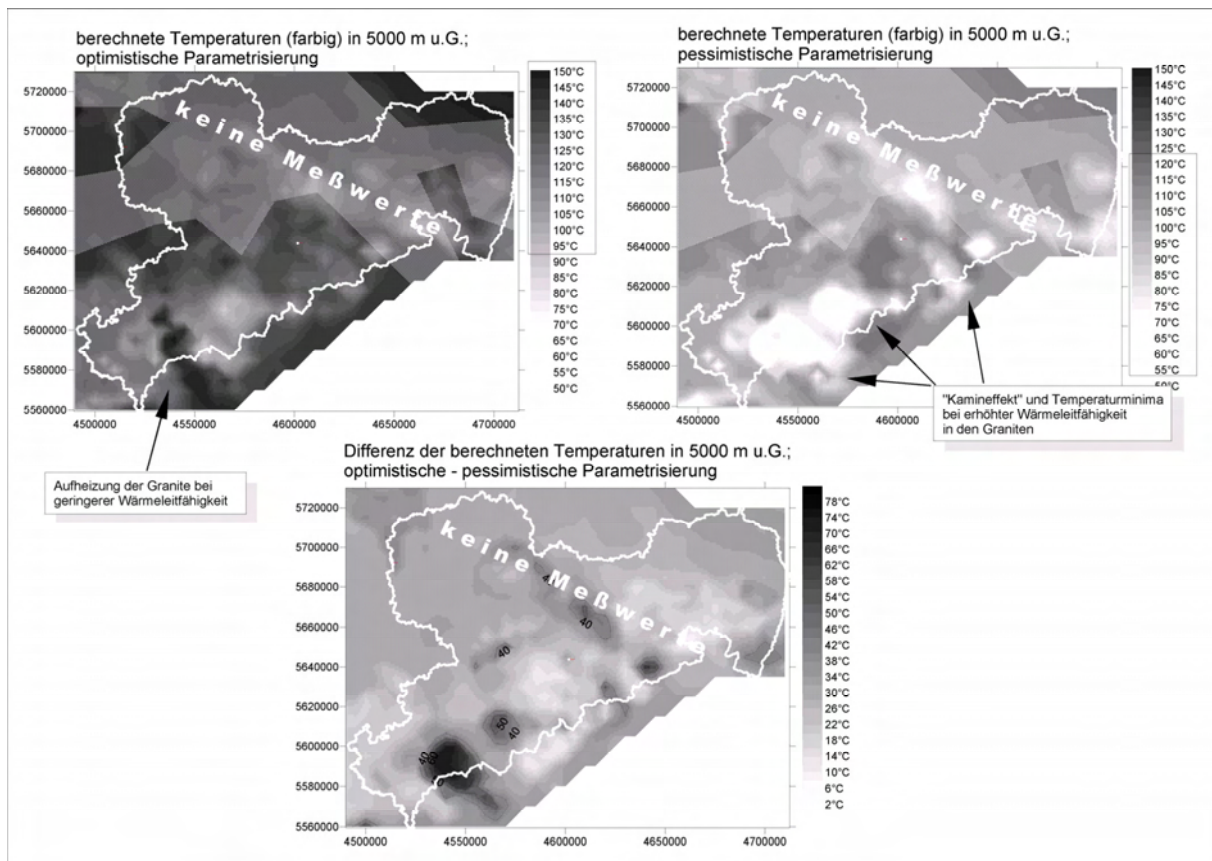


Abb. 3: Ausgewählte Schnittebenen des geologischen Modells.



**Abb. 4:** Vergleich der berechneten Temperaturen in 5000 m Tiefe bei unterschiedlichem Parameteransatz; links: „optimistischer“, rechts: „pessimistischer“ Parameteransatz, unten: Temperaturdifferenz beider Modelle; bei Variation der Wärmeleitfähigkeit der Granite von 3,2 W/m/K bis 3,6 W/m/K entstehen in 5000 m Tiefe lokal Temperaturunterschiede bis zu 70 °C.

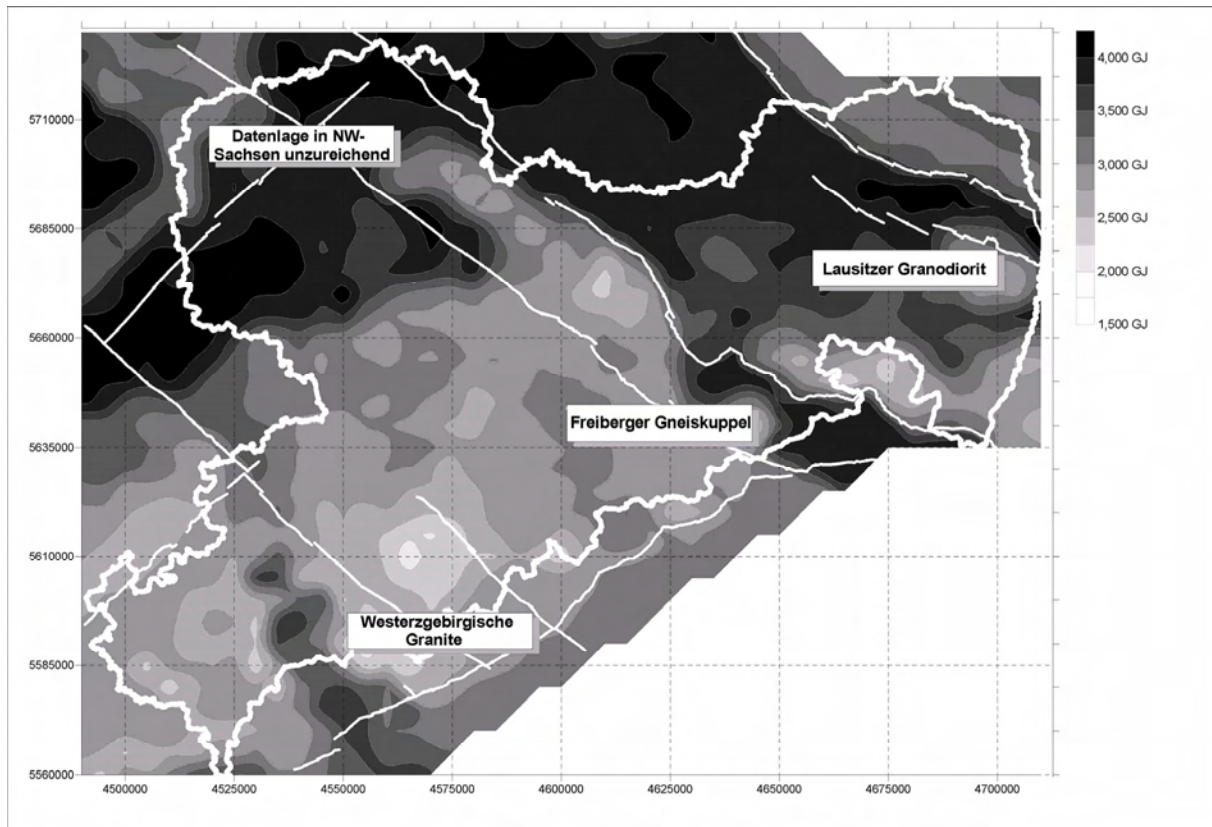
Um die zu erwartenden Fehler dieser Temperaturmodellierung einzuschätzen, wurden neben der Berechnung mit dem „wahrscheinlichen“ Parameteransatz weitere Berechnungen mittels „optimistischer“ und „pessimistischer“ Parameterannahmen durchgeführt. Dazu wurden – innerhalb der Wertebereiche der vorliegenden Meßdaten – die Parameteransätze variiert. Überraschend ist die Größenordnung der dabei entstehenden Auswirkungen relativ geringer Parameteränderungen auf die Temperaturverteilung im Untergrund.

Gegenüber dem o.a. mittleren Niveau deutlich erhöhte Temperaturen sind insbesondere dort zu erwarten, wo wärmeproduzierende (hochdifferenzierte, radionuklidreiche) Granite von schlechter wärmeleitenden Gesteinen überdeckt sind. Insofern erscheint zum gegenwärtigen Zeitpunkt insbesondere die Region des Osterzgebirges und der Freiburger Gneiskuppel erfolgversprechend, während die west-erzgebirgischen Granitregionen hinsichtlich der Temperaturänderungen in größerer Tiefe noch weiter untersucht werden sollten. Eine Entscheidung darüber, wel-

che Annahmen zutreffen, ist aufgrund der bestehenden Datenlage noch nicht möglich.

Neben einer weiteren Verdichtung der Datenbasis in der Fläche des Freistaats insgesamt ist besonders eine Verbesserung des Kenntnisstandes über die regionalen Differenzierungen der Wärmeflußdichte wünschenswert. Da dieser Parameter neben der Oberflächentemperatur als Startwert unmittelbar in die Berechnung eingeht, bewirken Lücken im Kenntnisstand dieses Wertes auch in den Ergebnissen der Temperaturextapolation besonders große Unschärfen.

Diese Untersuchungen sollten in Zukunft auch auf Regionen, wie die Lausitz ausgedehnt werden, die in der bisherigen geologischen Forschung nicht im Vordergrund des Interesses standen. Aufgrund seiner hohen Wärmekapazität kann mit hohem Wärmeinhalt des Granodiorits gerechnet werden.



**Abb. 5: Wärmeinhalt in 5000 m Tiefe unter Gelände, abgeschätzt für ein hypothetisches Volumenelement von  $10^4 \text{ m}^2$  Fläche und 10 m Mächtigkeit, unter Zugrundlegung von mittleren Dichte- und Wärmekapazitäts-Werten für die relevanten Gesteinsgruppen (SCHÖN 1996).**

## 4 Literatur

C&E GmbH: Abschlußbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben: Bestandsaufnahme und nutzungsorientierte Analyse des tiefergeothermischen Potentials des Freistaats Sachsen und seiner unmittelbaren Randgebiete (AZ 40410229), November 2005

C&E GmbH: Sachstandsbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben: Bestandsaufnahme und nutzungsorientierte Analyse des tiefergeothermischen Potentials des Freistaats Sachsen und seiner unmittelbaren Randgebiete, November 2004

HURTER, S. (Hrsg.) Atlas of geothermal Ressources in Europe, ISBN 92-828-0999-4, Luxembourg, 1996

REICH, F.: Beobachtungen über die Temperatur des Gesteins in verschiedenen Tiefen in den Gruben des sächsischen Erzgebirges 1830 – 1832, Freiberg

SCHÖN, J.: Physical Properties of rocks: Fundamentals and Principles of petrophysics, in Handbook of geophysical exploration, Vol.18, Pergamon- Verlag, Leoben 1996

SCHÖSSLER, K.; SCHWARZLOSE, J.: Geophysikalische Wärme flußmessungen, in Freiburger Forschungshefte C75, 1959.