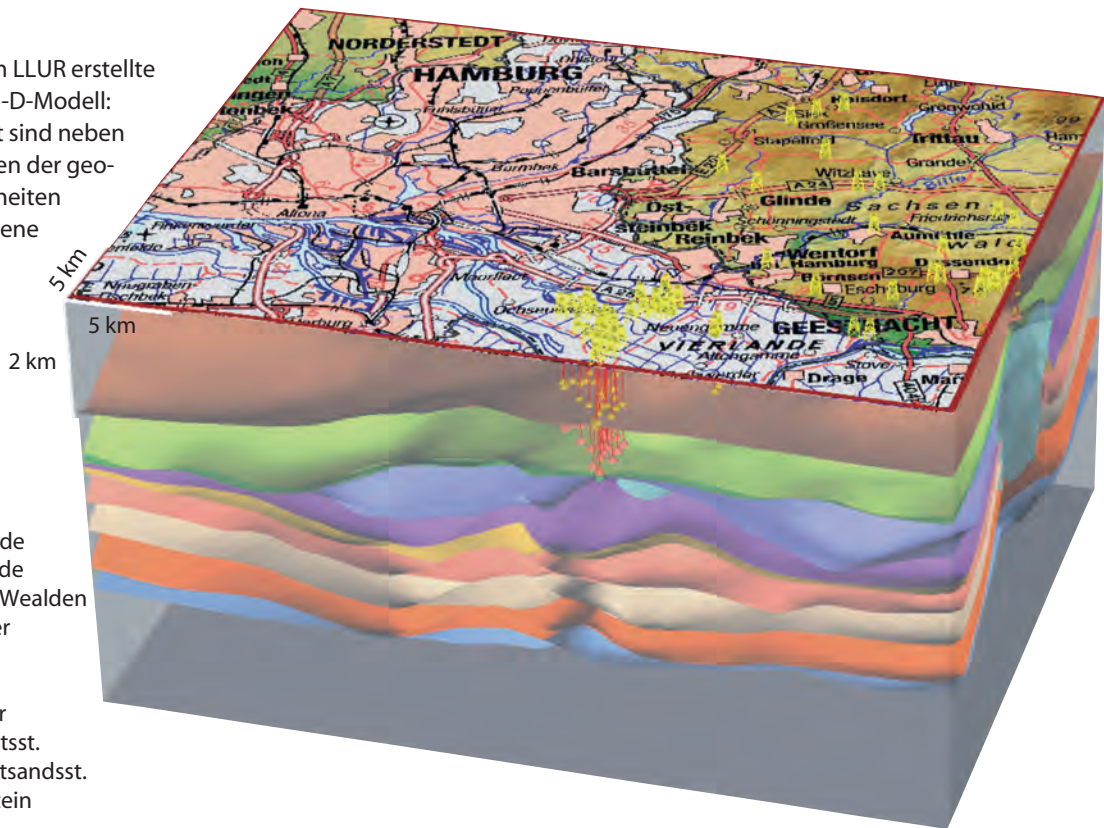


**Abb. 1** Das am LLUR erstellte geologische 3-D-Modell: Eingezeichnet sind neben den Basisteufen der geologischen Einheiten auch vorhandene Bohrungen.

- Basis Tertiär
- Basis O. Kreide
- Basis U. Kreide
- Basis Malm/Wealden
- Basis Dogger
- Basis Lias
- Basis Rhät
- Basis Keuper
- Basis O. Buntsst.
- Basis U. Buntsandsst.
- Basis Zechstein



## Erstellung eines geothermischen Modells für Teile Hamburgs und anliegende Gebiete

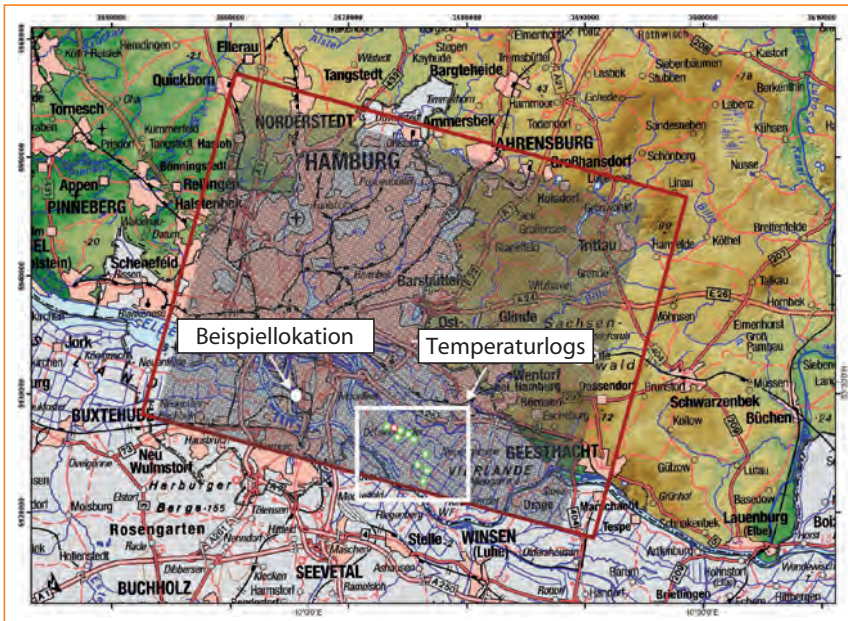
**Erkundung und Simulation** ■ Zur Beurteilung des geothermischen Potenzials im Stadtgebiet Hamburg und angrenzender Gebiete Schleswig-Holsteins wurde auf Basis eines dreidimensionalen geologischen Modells ein regionales numerisches Modell erstellt. Ziel war die Simulation des ungestörten Temperaturfeldes unter dem Einfluss der stark heterogenen Strukturen, insbesondere der Salzstöcke.

Um bessere Planungsgrundlagen für tiefengeothermische Projekte zur Verfügung zu stellen, befasst sich die hier vorgestellte Studie mit einem großräumigen geothermischen Modell für den östlichen Teilbereich der Stadt Hamburg und angrenzender Gebiete Schleswig-Holsteins. Dafür wurde zunächst vom Geologischen Dienst Schleswig-Holstein im Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) ein geologisches 3-D-Modell erstellt, welches alle wichtigen stratigraphischen Einheiten und geologischen Strukturen

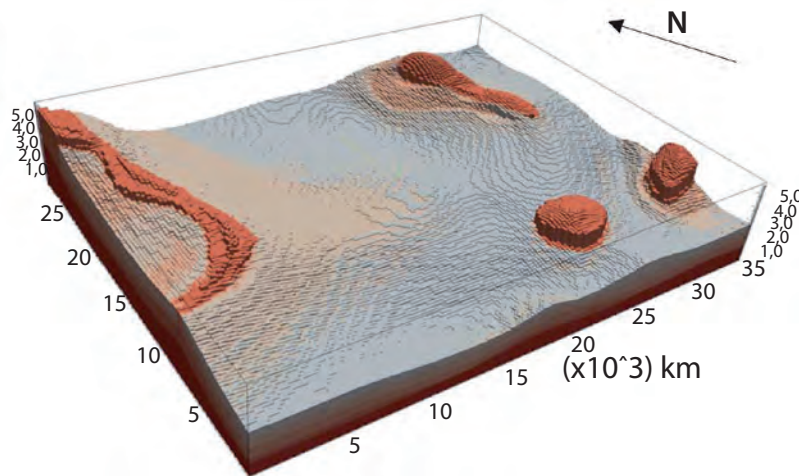
bis zum Rotliegend räumlich abbildet (Abb. 1, [11]). Dieses Modell wurde dann in ein numerisches Modell überführt, welches zum einen eine verlässliche Temperaturprognose für einen beliebigen Zielpunkt bzw. Zielhorizont im Modellgebiet erlaubt und zum anderen als Basis für weiterführende Reservoirmodelle dienen kann.

Ziel war es, die vorliegenden Untergrundstrukturen hinreichend genau wiederzugeben, um deren Effekt, speziell der Salzstöcke, auf das Temperaturfeld zu berechnen. Bedingt durch die zu er-

wartenden Kontraste der Wärmeleitfähigkeit im Untergrund muss mit lokal stark variierenden Temperaturgradienten gerechnet werden. Um diese so gut wie möglich vorhersagen zu können, mussten die thermischen Eigenschaften des Untergrundes, speziell die Wärmeleitfähigkeit, bestmöglich definiert werden. Hierzu wurden existierende Altbohrungen untersucht, um in Kombination mit verfügbaren Daten aus benachbarten Gebieten des Norddeutschen Beckens zu repräsentativen Kennwerten für die thermischen Eigenschaften zu gelangen.



**Abb. 2** Lage des numerischen Gitters im Modellgebiet. Im Bereich des Salzstocks Reitbrook sind einige Temperaturdaten vorhanden, insbesondere ein Log bis in 3.300 m Tiefe in der Bohrung Allermöhe-1 (rot). Eingezeichnet ist auch das Gebiet für das geplante geothermische Projekt. Die Eigenschaften des Gitters sind in Tabelle 1 aufgelistet.



**Abb. 3** Die geologischen Einheiten des Modells, beispielhaft dargestellt bis zum Top Rhät

### Geologisches Modell

Die Modelleinheiten des numerischen Modells entsprechen denen des geologischen Strukturmodells. Lediglich der Obere Jura (Basis Malm, Wealden) wurde aufgrund seiner geringen Mächtigkeit und fleckenhaften Verbreitung mit der Modelleinheit „Basis Dogger“ zusammengefasst.

### 3-D-Temperaturmodell Das Simulationswerkzeug

Für die dreidimensionale Simulation des Wärmetransports wird der Programmcode „Schemat-Suite“ [1] verwendet,

welcher in seiner ursprünglichen Form auf dem Finite-Differenzen (FD)-Programm „SHEMAT“ [2] basiert. Schemat-Suite kann neben dem Wärmetransport auch Fluidströmung und Stofftransport im saturierten, porösen Medium berechnen. Zusätzlich erlaubt ein inverser Modus Parameterschätzungen bei geeigneter Datenlage. Diese sogenannte „Bayessche Inversion“ wird über „Automatische Differenzierung“ des Programmcodes realisiert [1]. Neben den Vorwärtsrechnungen wurde auch für das Temperaturmodell getestet, ob eine Inversion

zur Abschätzung der thermischen Parameter möglich ist.

### Erstellung des numerischen Gitters

Die heterogene Geologie im Bereich der Salzstrukturen gestaltete den Modellaufbau entsprechend komplex. Für das numerische Gitter muss jeder Zelle ein eindeutiger Index zugewiesen werden. Für diesen Arbeitsschritt ist die Software Argus ONE (Open Numerical Enviroments, Argus Interware Inc., 2000) besonders geeignet. Sie erlaubt es, mittels einer flexibel gestalteten Skriptsprache numerische Modelle zu erzeugen. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, an beliebiger Stelle des Modells Gitter mit unterschiedlichen Parametern zu erstellen. Insbesondere für weitere Studien wie die Erstellung von lokalen Reservoirmodellen ist dies von Nutzen.

Aufgrund des recht großen Modells von 35,4 km x 28,4 km x 6 km Ausdehnung wurde eine vertikale Auflösung von 50 m und eine horizontale Auflösung von 200 m gewählt. Die zur Verfügung stehende Workstation mit einem 6-Kern-Prozessor und 12 GB RAM ermöglicht es, das resultierende Modell mit mehr als drei Millionen Gitterknoten zu berechnen. **Abbildung 2** zeigt die Lage des numerischen Gitters für das regionale Temperaturmodell. Neben den vorhandenen Temperaturdaten zeigt die Abbildung auch die Lokation, an welcher in der nächsten Projektphase eine geothermische Dublette in ein kleinskaligeres Reservoirmodell implementiert werden soll. In **Abbildung 3** ist beispielhaft das Modell bis zum Top Rhät gezeigt, letzterer stellt ein mögliches hydrothermal nutzbares Reservoir dar. ▶

**Neue Schieberdrehmaschinen**

... wir erfinden's einfach

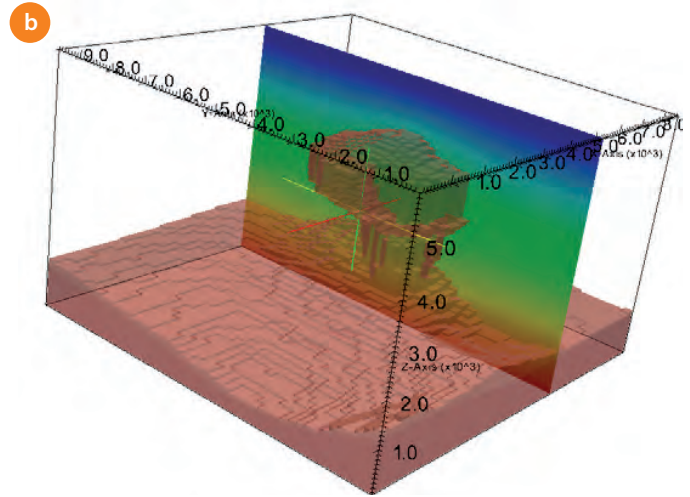
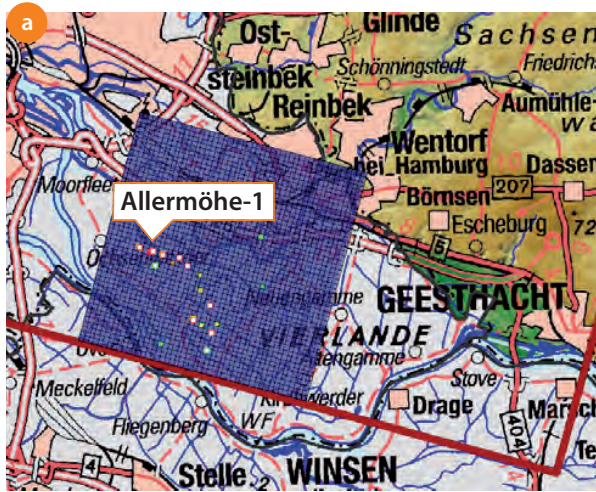
z.B. Handymat King 1, Akkuhandymat, Handybenzi

Jetzt Infos anfordern:

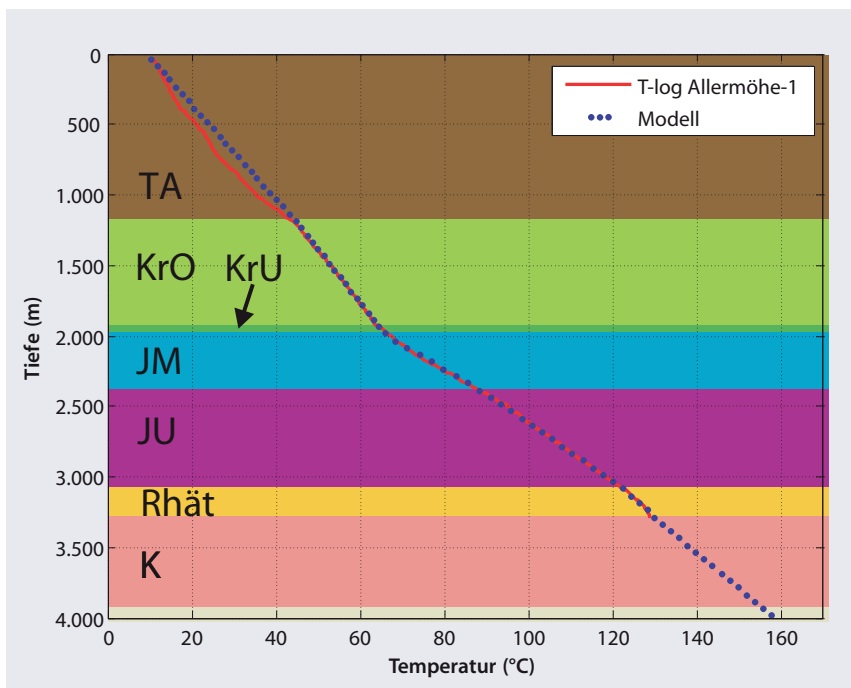
**www.elomat.de**

Elomat Anlagenbau Wassertechnik GmbH  
Mättich · Elomatstraße 10 · D-77880 Sasbach  
Tel. 0 78 41 / 20 77-0 · Fax 0 78 41 / 20 77 - 22  
wittenauer@elomat.de · www.elomat.de





**Abb. 4** (a) Lage des lokalen 3-D-Modells für die inversen Simulationen. Die horizontale Ausdehnung des Modells beträgt etwa 10 x 10 km. Die farbigen Punkte deuten die Lage der Temperaturlogs bzw. Einzelmessungen an. (b) 3-D-Darstellung des Modells mit Lage des Salzstocks Reitbrook. Der Schnitt zeigt den qualitativen vertikalen Temperaturverlauf.



**Abb. 5** Vergleich der modellierten Temperaturen mit dem Temperaturlog in der Bohrung Allermöhe-1 (Daten: LIAG, Hannover)

Für das regionale Temperaturmodell wird ein rein konduktives thermisches Regime angenommen. Das bedeutet, dass auf dem FD-Gitter nur die Wärme-transportgleichung gelöst wird. Diese Annahme ist gerechtfertigt, da aufgrund der flachen Topographie keine signifikante Strömung zu erwarten ist. Die Wärmeleitfähigkeit wird im Modell temperaturabhängig berechnet, da sie je nach Gestein und Temperatur beträchtlich variiert [3]. Am oberen Modellrand wird über eine feste Temperaturvorgabe eine Dirichlet-Randbedingung gesetzt. Sie ist die mittlere Jahrestemperatur der Bodenoberfläche, welche etwas über der mittleren Jahrestemperatur der Luft liegt (z. B. [4]). Die untere Randbedingung stellt der basale Wärmestrom dar. Hier gibt es die allgemeinen Angaben in [5], welche sich aber als nicht hinreichend genau darstellten (siehe nächster Abschnitt). Alle Eigenschaften des Modells sind in **Tabelle 1** aufgeführt. Entsprechend den Vorgaben des geologischen Modells enthält das numerische Modell elf geologische Einheiten, deren thermische Eigenschaften in **Tabelle 2** aufgeführt sind. Die Ableitung dieser Eigenschaften aus Literatur und Bohrungsinformationen wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

Parameter	Wert
Modellgröße	35,4 km x 28,4 km x 6 km
Gittergröße, Auflösung	177 x 142 x 120; 200 m x 200 m x 50 m
Zellenanzahl	3 016 080
Basaler Wärmestrom q in 6 km Tiefe	70,5 mW m <sup>-2</sup>
Oberflächentemperatur	10 °C
Geologische Einheiten	11
Thermische Randbedingungen	Oben: T const., unten: q konstant
Wärmeleitfähigkeit	f(T)

**Tabelle 1** Eigenschaften des 3-D-Modells

### Stationäre Simulationen des Temperaturfeldes und Modellkalibration

Für das Modellgebiet liegen sowohl Temperaturlogs als auch Einzelmessungen in Bohrlöchern vor (**Abb. 2**). Die

Daten wurden vom Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG, Hannover) zur Verfügung gestellt. Dabei erreicht das Temperaturlog der Bohrung Allermöhe-1 eine Tiefe von 3.287 m [6]. Die relativ hohe Datendichte beschränkt sich auf den Bereich des Salzstocks Reitbrook. Es sind zwar auch einzelne Daten in anderen Bereichen vorhanden, allerdings nur bis in wenige hundert Meter Tiefe, was für die Modellkalibration nicht ausreichend ist. Aus diesem Grund wurde ein kleineres 3-D-Modell erstellt (Abb. 4), welches die Bohrungen mit den Temperaturdaten enthält. Mit diesem Modell wurde nun getestet, ob eine Inversion zu plausiblen Werten für die Wärmeleitfähigkeiten führt. In der Inversion wird iterativ nach dem optimalen Modell hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeiten der unterschiedlichen Schichten gesucht. Dabei wird die sogenannte Zielfunktion, welche die Differenz zwischen Daten und Modelloutput beschreibt, minimiert. In diesem Modell wird nach den Wärmeleitfähigkeiten der verschiedenen Schichten invertiert. Dabei zeigte sich, dass es sinnvoll ist, nur

Schichten mit einer gewissen Mindestmächtigkeit zu betrachten, da ansonsten unrealistisch Werte produziert werden.

Eine weitere Charakterisierung der thermischen Eigenschaften wurde durch iterative Vorwärtsmodellierung erreicht, wobei entsprechend der auftretenden Lithologien die Wärmeleitfähigkeiten und Wärmeproduktionsraten für die einzelnen Modelleinheiten sukzessive angepasst wurden. Bis zum Rhät konnte hierzu die Bohrung Allermöhe herangezogen werden. Für die darunter folgenden Modelleinheiten wurde auf Literaturwerte zurückgegriffen [7, 8], die durch Daten aus eigenen aktuellen Forschungsvorhaben im Norddeutschen Becken [9,10] ergänzt wurden. Neben Messdaten zu Wärmeleitfähigkeiten an Probematerial, wurden Bohrlochmessdaten und, soweit vorhanden, Temperaturlogs herangezogen.

Bei diesem Vorgehen kann im Gegensatz zur Inversion berücksichtigt werden, dass bestimmte Modelleinheiten in sich heterogen bezüglich der thermischen

Eigenschaften sind. So sind z. B. die jüngeren tertiären Abfolgen (Miozän bis Obereozän) durch Wechselfolgen von Tonen, Sanden, Mergeln und Kalksandsteinen geprägt. Diese haben tendenziell höhere Wärmeleitfähigkeiten als die darunter folgenden älteren tertiären Schichten, in denen Tonsteine vorherrschen. Für das im geologischen 3-D-Modell zusammengesfasste Tertiär kann eine mittlere Wärmeleitfähigkeit angesetzt werden. Um dies zu erreichen, wurde an Top und Basis des Tertiärs das Modell an die gemessene Temperatur angepasst, im mittleren Bereich gibt es jedoch Abweichungen. Allerdings spielt dies für die Entwicklung des Temperaturgradienten für die tieferen Bereiche keine Rolle.

Abbildung 5 zeigt das beste Modell im Vergleich zum Temperaturlog in der Bohrung Allermöhe-1. Für die Oberkreide bis zur Endteufe im Rhät konnte über dieses rein konduktive Modell eine gute Anpassung erreicht werden. Im Gegensatz zu den Ergebnissen in [6] kann der relativ große

## Damit die ganze Wärme oben ankommt – ThermoCem®

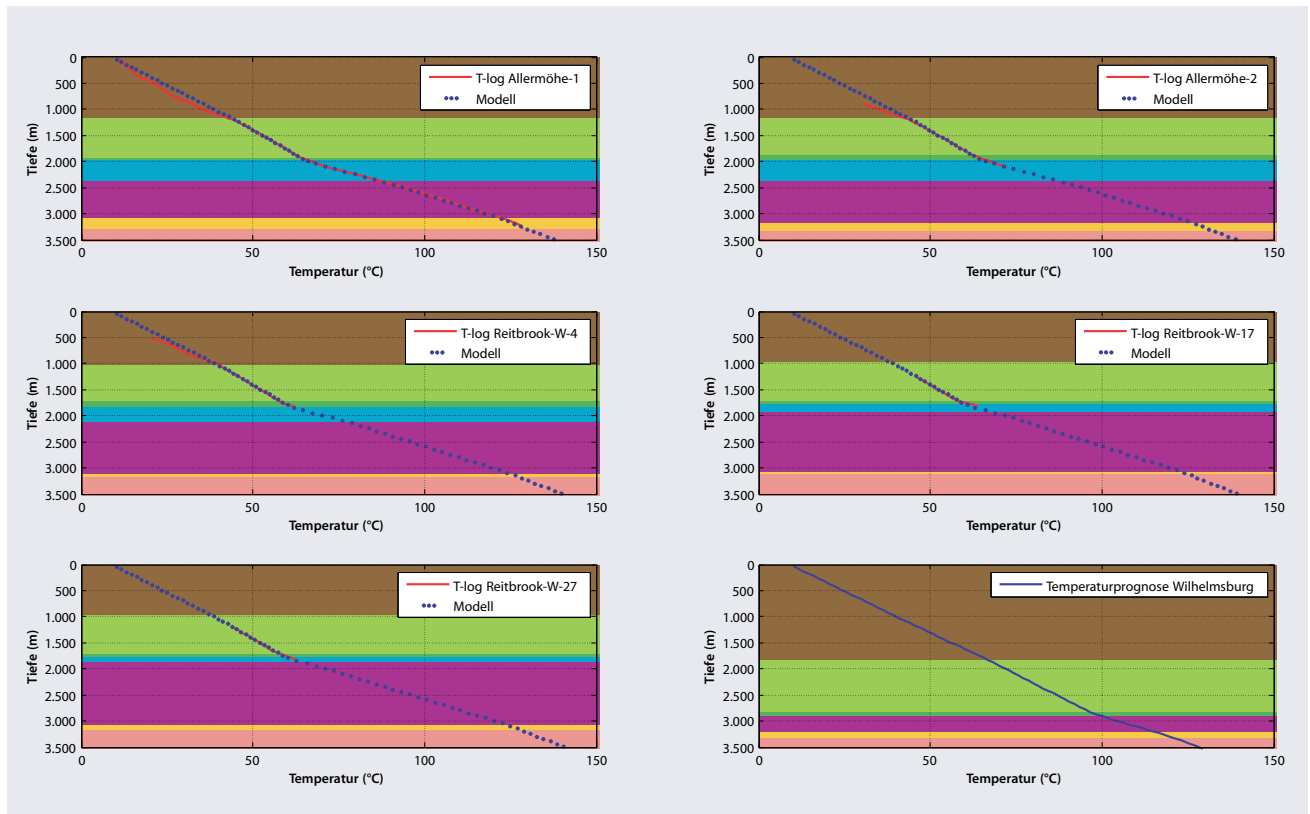
### Der Trockenmörtel mit herausragender Wärmeleitfähigkeit

Mit Hilfe von Erdwärmesonden gekoppelt mit Wärmepumpen lässt sich Wärme aus der Tiefe zum Heizen oder zur Stromerzeugung gewinnen.

ThermoCem ist ein Trockenmörtel, der speziell für die Einbettung von Erdwärmesonden entwickelt wurde und mit seiner enormen Wärmeleitfähigkeit, doppelt so hoch wie bei herkömmlichen Füllbaustoffen, für einen noch größeren Nutzen der Energieressource Erdwärme sorgt. Nicht nur ein Gewinn für Sie, sondern auch für eine saubere Umwelt.

[www.thermocem.de](http://www.thermocem.de)

HEIDELBERGCEMENT



**Abb. 6** Vergleich der modellierten Temperaturen mit allen vorhandenen Temperaturlogs, sowie die Prognose an einer möglichen Ziellokation (Daten: LIAG, Hannover).

Gradient im Jura durch die komplizierten Wärmeleitfähigkeiten erklärt werden, sodass die Annahme eines advektiven Wärmetransports nicht erforderlich ist.

Unterhalb des Rhäts liegen zur Modellkalibration keine Temperaturdaten aus

Bohrungen vor. Insofern sind diese Temperaturen mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet. Hier wurde versucht, für die thermischen Eigenschaften möglichst repräsentative Werte aus anderen Bohrungen im Norddeutschen Becken abzuleiten. In gleicher Weise wie im Tertiär zeigen

auch die tiefer liegenden Modelleinheiten vertikale Variationen im Gesteinsbestand, die aber aufgrund der vorgegebenen Modelleinheiten nicht berücksichtigt werden konnten. Für die Salzstöcke wurde eine einheitliche Wärmeleitfähigkeit von  $4,5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  angesetzt.

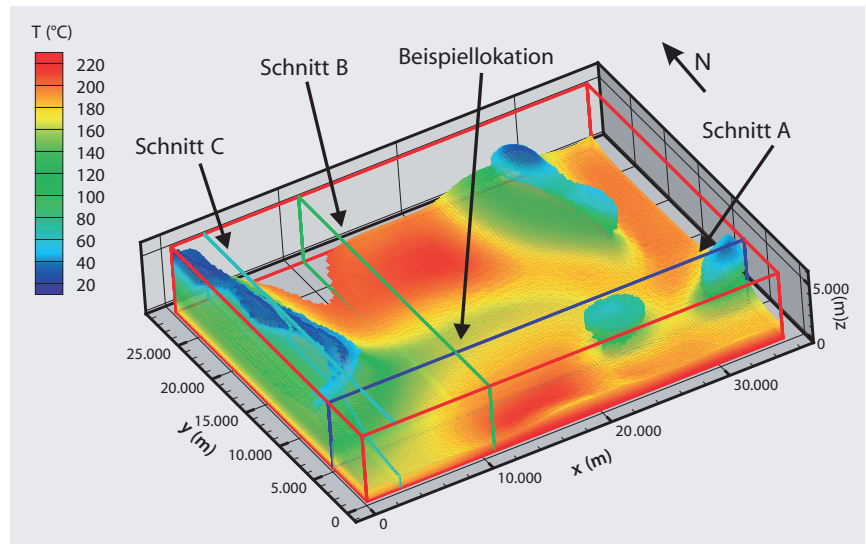
Einheit	Nummer	Effektive Wärmeleitfähigkeit ( $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )	Wärmeproduktion ( $10^{-6} \text{ W m}^{-3}$ )
Tertiär (TA)	1	2,5	0,9
Oberkreide (KrO)	2	2,9	0,9
Unterkreide (KrU)	3	2,0	0,9
Dogger (JM)	4	1,2	1,4
Lias (JU)	5	1,5	1,4
Rhät (Rt)	6	2,2	0,5
Keuper (K)	7	2,0	1,0
Oberer Buntsandstein (SO)	8	2,4	0,7
Unterer Buntsandstein (SU)	9	2,8	1,3
Zechstein/Salz (Z)	10	4,5	0,5
Rotliegend (RO, Basis)	11	2,8	1,5

**Tabelle 2** Thermische Eigenschaften des Modells: Die Werte resultieren aus einer Kombination von Ergebnissen aus Inversion und Vorwärtsrechnungen unter Verwendung der Temperaturdaten, sowie Literaturwerten (Norden & Förster, 2006, Norden et al., 2008). Die effektiven Wärmeleitfähigkeiten bezeichnen die Gesamtwärmeleitfähigkeit der Gesteinsmatrix und des Porenraums. Die Wärmeproduktionsrate wird durch den radioaktiven Zerfall der natürlich auftretenden Radionuklide bestimmt.



Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor ist der basale Wärmestrom. Hier gibt der „Atlas of Geothermal Resources in Europe“ [5] einen Wert von  $60 \text{ mW m}^{-2}$  an, welcher aber nach [8] offensichtlich zu niedrig angesetzt ist. Dort werden neue Wärmestromdaten für 13 verschiedene Tiefbohrungen im Nordostdeutschen Becken vorgestellt. Für dieses Gebiet wurde an der Oberfläche ein mittlerer Wert von  $77 \pm 3 \text{ mW m}^{-2}$  bestimmt. Eine dieser Bohrungen (Gv 1/78) liegt nordöstlich von Lübeck und damit nur etwa 80 km von Hamburg entfernt. Hier wurde über das Teufenintervall von 4.600 bis 4.800 m ein Wert von  $82 \text{ mW m}^{-2}$  errechnet. Basierend auf diesen Daten dann in Zusammenhang mit den angesetzten Wärmeleitfähigkeiten und den Temperaturdaten ein Wärmestrom von  $70,5 \text{ mW m}^{-2}$  an der Modellbasis in 6.000 m Tiefe ermittelt.

Diese kombinierte Vorgehensweise führte zu den Werten in **Tabelle 2**. Wie in **Abbildung 5** zu erkennen, führt die oben erwähnte Heterogenität des Tertiärs



**Abb. 7** Temperaturverlauf im gesamten Modell an der Oberfläche der Salzstrukturen bzw. des Zechsteins. Eingezeichnet sind die Lagen der vertikalen Schnitte in der **Abbildung 8**.

zur Abweichung der Daten vom Modell im mittleren Bereich des Tertiärs. An Top und Basis des Tertiärs stimmen jedoch wie in den anderen Bereichen die modellierten Temperaturen sehr gut mit den gemessenen überein. In **Abbil-**

**dung 6** sind die Vergleiche zwischen modellierten Temperaturen und den anderen vorhandenen Daten dargestellt, zusätzlich ist das Profil beispielhaft an der möglichen Ziellokation Wilhelmsburg dargestellt. ▶

glykosol WP

## GLYKOSOL WP

# DIE POWER FÜR IHRE WÄRMEPUMPE!

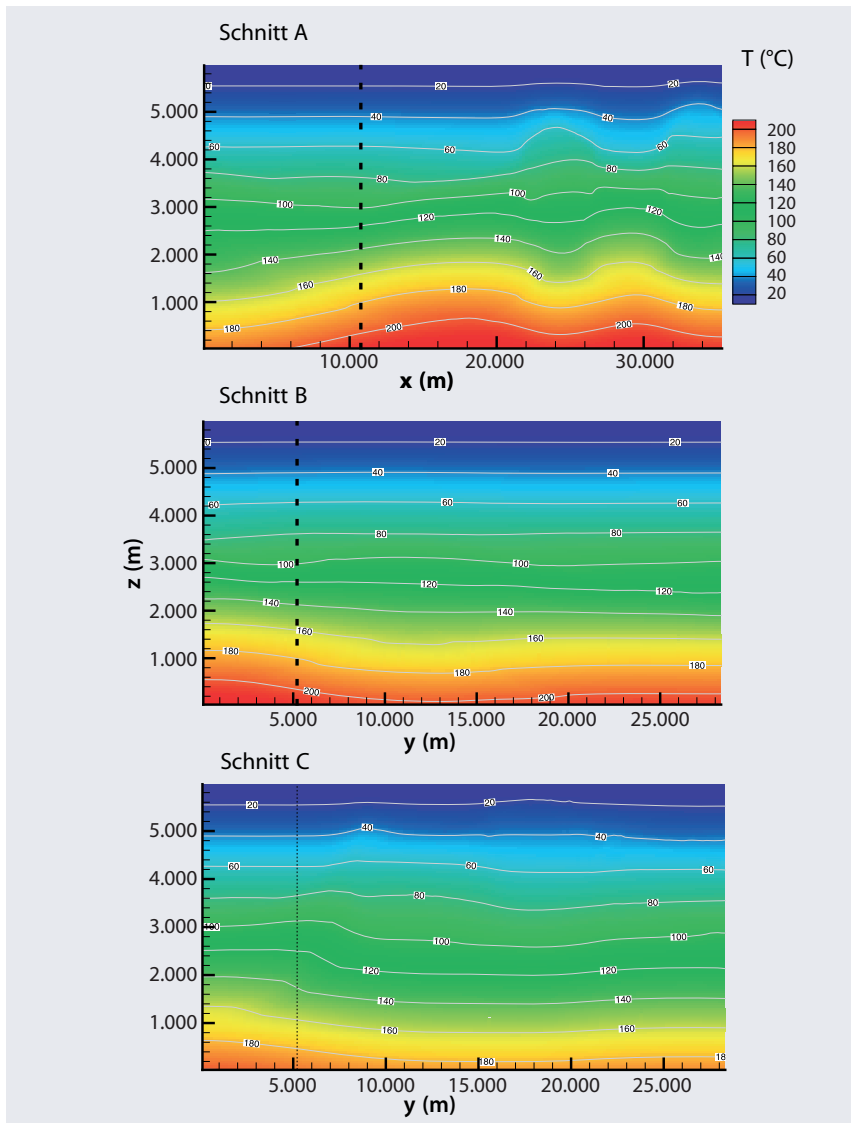
Wärmeträger auf Basis Monoethylenglykol optimiert für Wärmepumpen und Erdsonden

Foto: Haus - Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.

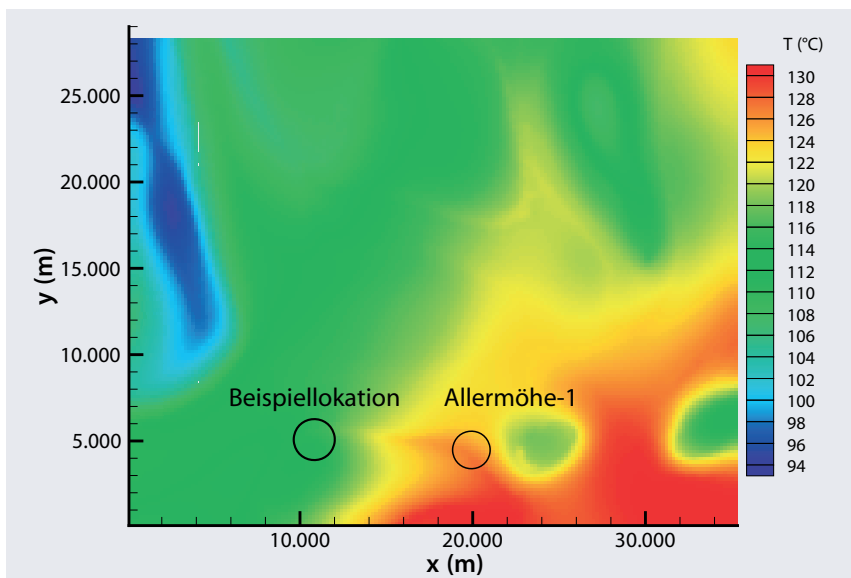
*Damit sie flüssig bleiben!*

pro KÜHLSOLE

Mehr Informationen gibt es unter: [www.glykol.info](http://www.glykol.info)  
 pro KÜHLSOLE GmbH · Am Langen Graben 37 · D-52353 Düren · Telefon: +49 2421 59196-0



**Abb. 8** Vertikale Schnitte entsprechend Abbildung 7. Die gestrichelte Linie gibt die Lage der Beispiellokation an. Für die z-Achse entspricht der Wert 0 der Modellbasis. Schnitt A ist aus Blickrichtung Süden, die Schnitte B und C aus Richtung Osten.



**Abb. 9** Horizontaler Schnitt durch das Temperaturfeld des gesamten Modells in einer Tiefe von 3.150 m

## Visualisierung des Temperaturfeldes

Die stationären Simulationen berechnen das konduktive Temperaturfeld für das 3-D-Modell. Entsprechend können an beliebiger Stelle des Modellraumes vertikale und horizontale Profile oder Schnitte extrahiert werden. **Abbildung 7** zeigt die Temperaturen an der Oberfläche der Salzstrukturen bzw. des Zechsteins sowie die Lage der vertikalen Schnitte in **Abbildung 8**, anhand welcher der Einfluss der Salzstöcke auf das Temperaturfeld sichtbar wird. Schließlich ist in **Abbildung 9** ein horizontaler Schnitt in einer Tiefe von 3.150 m dargestellt. Dies entspricht der Tiefe in welcher bei Bohrung Allermöhe-1 der Rhät angetroffen wurde. Anhand dieser Abbildung wird der Einfluss der heterogenen Struktur und insbesondere der Salzstöcke sichtbar: Die Temperaturen variieren in dieser Tiefe um mehr als 35 °C. Diese Größenordnungen werden auch in anderen Gebieten Norddeutschlands beobachtet [12]. Die starken Temperaturkontraste westlich der Allermöhe-Bohrung und östlich der Beispiellokation resultieren aus den unterschiedlichen Mächtigkeiten und Auftreten des unteren und mittleren Juras und deren niedrigen Wärmeleitfähigkeiten.

## Zusammenfassung und Ausblick

In der ersten Projektphase dieser Studie wurde ein großräumiges 3-D-Modell für den östlichen Bereich des Stadtgebietes Hamburgs sowie angrenzender Bereiche Schleswig-Holsteins erstellt. Sämtliche verfügbaren Daten zu Temperaturen und thermischen Eigenschaften wurden kompiliert und für das Modell aufbereitet. Als Ergebnis wurde das stationäre, konduktive Temperaturfeld des 3-D-Modells simuliert. Trotz der Vereinfachungen in der Schichtfolge konnten die vorhandenen Temperaturprofile mit dem Modell gut reproduziert werden. Die besonders heterogene Struktur des Hamburger Untergrunds führt zu großen lateralen Temperaturkontrasten. Die Modellergebnisse können damit als Basis für die Planung geothermischer Anlagen dienen. In der zweiten Projektphase wird in das vorliegende Temperaturmodell ein detailliertes Reservoirmodell implementiert werden, mit dem der Betrieb einer geothermi-

schen Dublette simuliert werden soll. Hier soll ein möglicher Zielhorizont virtuell erschlossen werden und das Langzeitverhalten des Speichers dargestellt werden.

### Literatur

- [1] Rath, V., Wolf, A. & Bucker, M. 2006: Joint three-dimensional inversion of coupled ground-water flow and heat transfer based on automatic differentiation: sensitivity calculation, verification, and synthetic examples, *Geophys. J. Int.* 167, 453-466.
- [2] Clauser, C. (ed.): *Numerical simulation of reactive flow in hot aquifers using SHEMAT and Processing Schemat*. Springer Verlag, Heidelberg-Berlin (2003)
- [3] Zoth, T. A. & Hänel, R. 1988: Appendix, in R. Hänel, L. Rybach & L. Stegena (ed.): *Handbook of Terrestrial Heat Flow Determinations*, Kluwer, S. 449-466.
- [4] Smerdon, J. E., Pollack, H. N., Cermak, V., Enz, J. W., Kresl, M., Safanda, J. & Wehmler, J. F. 2006: Daily, seasonal, and annual relationships between air and subsurface temperatures, *J. Geophys. Res.* 111.
- [5] Hurter, S. & Haenel, R. (ed.): *Atlas of geothermal resources in Europe*, Office for official publications of the european communities, Luxembourg, (2002)
- [6] Kühn, M. & A. Günther, 2007. Stratabound Rayleigh convection observed in a 4D hydrothermal reactive transport model based on the regional geological evolution of Allermöhe (Germany). *Geofluids*, 7, 301-312
- [7] Norden, B. & Förster, A., 2006, *Thermal conductivity and radiogenic heat production of sedimentary and magmatic rocks in the Northeast German Basin*, *AAPG Bulletin* 90-6, 939-962.
- [8] Norden, B., Förster, A. & Balling, N., 2008, *Heat flow and lithospheric thermal regime in the Northeast German Basin*, *Tectonophysics* 460 (1-4), 215-229.
- [9] J. Arnold, D. Mottaghy, & R. Pechinig, D. Gnjezda, C. Vogt, 2010: *MeProRisk - 3-D geothermal reservoir modeling in the North German Sedimentary Basin* European Geosciences Union, General Assembly, Vienna, 02 - 07 May, 2010-10309
- [10] Pechinig, R., Mottaghy, D., Arnold, J., Clauser, C. & G. Marquardt 2010: *MeProRisk - Methodenentwicklung zur verbesserten Risikoeinschätzung bei der Erkundung und Erschließung tiefer geothermischer Anlagen*, Vortrag, Geotherm Offenburg, Februar 2010.
- [11] Hese, F., Liebsch-Dörschner, T. & Thomsen, C., 2010, *Erstellung eines geothermischen*

*Modells für einen Teilbereich der Hansestadt Hamburg und anliegender Gebiete Schleswig-Holsteins, Numerische Modelle zur Temperaturvorhersage und zur Reservoirsimulation: Geologisches 3D Modell Version 2, Bericht, LLUR Schleswig-Holstein - Dez.64.*

[12] Fromme, K, Michalzik, D. & Wirth, W. (2010), *Das geothermische Potenzial von Salzstrukturen in Norddeutschland*, *Z. dt. Ges. Geowiss.*, 161/3, S. 323-333, Stuttgart, September 2010

Abbildungen: Abb. 1: Hese et al., 2010 [11], Abb. 2-9: Geophysica

### Autoren:

Dr. Darius Mottaghy  
 Dr. Renate Pechinig  
 Geophysica Beratungsgesellschaft mbH  
 Lütticherstr. 32  
 52064 Aachen  
 Tel.: 0241 189929-17  
 Fax: 0241 189929-13  
 E-Mail: [d.mottaghy@geophysica.de](mailto:d.mottaghy@geophysica.de)  
 Internet: [www.geophysica.de](http://www.geophysica.de)

Dr. Renate Taug  
 Dipl.-Min. Jens Kröger  
 Geologisches Landesamt Hamburg  
 Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt  
 Geologisches Landesamt Hamburg  
 Billstr. 84  
 20539 Hamburg  
 Tel.: 040 42845-2666  
 Fax: 040 42845-2662  
 E-Mail: [renate.taug@bsu.hamburg.de](mailto:renate.taug@bsu.hamburg.de)  
 Internet: [www.bsu.hamburg.de](http://www.bsu.hamburg.de)

Dipl.-Geol. Claudia Thomsen  
 Dipl.-Geol. Fabian Hese  
 Dr. Thomas Liebsch-Doerschner  
 Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig Holstein (LLUR) - Geologischer Dienst - Dezernat 64  
 Ingenieurgeologie, Energierohstoffe  
 Hamburger Chaussee 25  
 24220 Flintbek  
 Tel.: 04347 704-563  
 Fax: 04347 704-502  
 E-Mail: [claudia.thomsen@llur.landsh.de](mailto:claudia.thomsen@llur.landsh.de)  
 Internet: [www.llur.landsh.de](http://www.llur.landsh.de)



## Geothermie GET-System



Ob Einfamilienhaus oder Großobjekte, das FRANK GET-System zur Gewinnung von Erdwärme bietet die optimale Lösung.



■ FRANK Erdwärmesonden, höchste Sicherheit durch Werksschweißung, Prüfung und Zeugnis



■ Hochwertigster Werkstoff PE 100-RC, für einen langlebigen Einsatz



■ Vorkonfektionierte Standardlängen bis 350 m in d 32 und d 40 mm



■ SKZ-zertifizierte, fremdüberwachte Produktion

■ Komplettes Zubehör: modulare Soleverteiler, Verteilerschächte, PE-Großverteiler ...