

# ThermoMap – Eine europaweite Analyse oberflächennaher Geothermiepotenziale

Lucia MORPER-BUSCH, Hermann KLUG, David BERTERMANN

## 1. Einleitung

In den letzten Jahren gewinnt der Ausbau erneuerbarer Energieressourcen auf internationaler wie auch auf nationaler Ebene immer mehr an Bedeutung (HUTTRER 1996, HUTTRER 2001, BERTANI 2005, CHAMORRO et al. 2011 in press, BERTANI 2012). Neben den wissenschaftlich-technischen Fortschritten im Solar-, Wind- und Wasserenergiebereich sind die oberflächennahen Erdwärmeressourcen sowohl in der Forschung als auch der Entwicklung bisher wenig thematisiert (GEMELLI et al. 2011). Während die Tiefengeothermie die Erdkernenergie ab etwa 400m unter der Bodenoberfläche nutzt, widmet sich die Oberflächen-geothermie den Erdschichten darüber (ONDREKA et al. 2007). Diese wiederum unterteilen sich in eine endogen beeinflusste Schicht unterhalb von etwa 10m und der exogen beeinflussten oberflächennahen Schicht bis 10m Tiefe. Diese obersten zehn Meter werden maßgeblich durch den Solarhaushalt gesteuert und werden im Rahmen des von der EU geförderten Projektes ThermoMap und dieser Publikation bezüglich der Potenzialanalyse fokussiert, soweit es sich um unkonsolidierten Untergrund handelt. Solche Analysen zur Entscheidungsunterstützung in der Regional- und Landschaftsplanung sind nicht neu (RAMACHANDRA & SHRUTHI 2007, BELMONTE et al. 2009, ANGELIS-DIMAKIS et al. 2011, RAMACHANDRA 2009, TIBA et al. 2010), doch deren Ableitung und die räumliche Visualisierung für die ersten 10m sind bisher kaum erfolgt. Neben der Vorstellung des Konzeptes der Ableitung der oberflächennahen Geothermiepotenziale, einer dauerhaft verfügbaren erneuerbaren Energiequelle, die durch die Parameter Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität beschrieben wird, liegt der Fokus des Beitrags auf der WebGIS-basierten Visualisierung der Ergebnisse.

## 2. Methoden

### 2.1. Übersichtskarte und Testgebiete

Auf Basis bestehender Geodaten entwickelten die Autoren gemeinsam mit dem ThermoMap-Konsortium einen Ansatz zur Charakterisierung der verfügbaren Energieressourcen. Dabei zielt die Methode auf zwei Basiskonzepte ab. Zum einen werden die Energiepotenziale großflächig auf europäischer Ebene (1:250.000) und zum anderen kleinflächig auf lokaler/regionaler Ebene (1:25.000 und kleiner) charakterisiert. Die Repräsentation von drei verschiedenen Tiefenstufen (0-3m, 3-6m und 6-10m Tiefe) in großem Maßstab erfolgt in 14 ausgewählten Testgebieten der neun Partnerländer (Österreich, Belgien, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Ungarn, Island, Rumänien und Großbritannien).

## 2.2. Datenbasis, -vorbereitung und -verarbeitung

### Datenbasis

Die zur Ableitung des Energiepotenzials verwendeten Parameter sind im Einzelnen klimatologische (Jahresdurchschnittstemperatur, Jahresgesamtniederschlag), bodenkundliche (Bodentyp, Korngrößenverteilung in den drei Tiefenstufen, Mächtigkeit des anstehenden Lockermaterials), hydro(geo)logische (Bodenwasserhaushalt und Grundwasserstand), geologische, topographische (Geländeneigung) und administrative (Nutzungsbeschränkungen z.B. in Naturschutzgebieten) räumliche Datensätze. (ROßNER et al. 2011)

### Datenvorbereitung

Im Zuge der länderübergreifenden Harmonisierung der Datenbasis erfolgte u.a. eine einheitliche Klassifizierung der Bodenart. Nationale Erfassungssysteme wurden auf das Korngrößendreieck des USDA (United States Department for Agriculture) übertragen. Bei fehlenden Ausgangsdaten mussten Informationen abgeschätzt bzw. durch Flächenberechnungen unter Verwendung von Punktmessdaten generiert werden. Dabei handelt es sich z.B. um die flächendeckende Angabe der Dicke des vorhandenen Lockergesteins und der Bodeneigenschaften in Tiefenschichten unter drei Metern. Auch die durchschnittliche Höhe des Grundwasserspiegels musste in manchen Fällen durch Pedotransferfunktionen gewonnen werden. Bei zu lückenhaften bzw. ungenauen Daten wurden die entsprechenden Flächen aus der Abschätzung herausgenommen.

Um eine einheitliche Verarbeitung der Testgebietsanalysen zu gewährleisten, konsolidierte das Konsortium die Datenformate und –bearbeitungsschritte, welche in einem Bericht festgehalten wurden (MORPER-BUSCH et al. 2012). Diese Basis ermöglicht eine harmonisierte und auch länderübergreifend vergleichbare Darstellung der Potenzialkarten.

### Datenverarbeitung zur Potenzialberechnung

Zur Potenzialberechnung wurden nach Rücksprache mit Industrievertretern und Wissenschaftlern des ThermoMap-Konsortium das Konzept nach LBEG (2009) und der Ansatz des Kersten-Modells (KERSTEN 1949 & DEHNER 2007) ausgewählt. Die folgenden Erläuterungen sind in ROßNER et al. (2011) zusammengefasst.

Für jede Tiefenstufe und Korngrößenklasse wurden vorberechnete Wärmeleitfähigkeitswerte in einer Tabelle zusammengestellt. Diese sind je nach Sättigung und Feuchtigkeitsindex den einzelnen Potenzialflächen zuzuordnen. Jede USDA-Korngrößenklasse hat spezifische Werte für Luftkapazität, Feldkapazität, Totwassergehalt und somit dem maximalem Porenvolumen. Pro Tiefenstufe nimmt außerdem die Bodendichte zu, die als Durchschnittswert für die Berechnung verwendet wurde. Die Wärmeleitfähigkeit in der Tabelle wurde mit Hilfe dieser Parameter nach der Kersten-Formel berechnet. Die Wärmespeicherfähigkeit dagegen wird mit Hilfe von Feldkapazität, Totwassergehalt, maximalem Porenvolumen, Feuchtigkeitsindex, Sättigung, Bodendichte und Jahresdurchschnittstemperatur nach der Kersten-Formel von jedem Partner selbst berechnet. (Anleitung siehe MORPER-BUSCH et al. 2012)

Flächen, in denen es nur unzureichende Daten gibt, sowie Flächen, in denen keine Nutzung möglich ist (kein vorhandenes Lockergestein, Wasserflächen), werden von der Analyse

ausgeschlossen. Nutzungsbeschränkungen (Naturschutzgebiete, ungeeignete Böden und steiles Gelände) dagegen werden berücksichtigt, bei der Visualisierung erhalten sie eine spezielle Schraffur (siehe Diskussion).

### 2.3. WebGIS – Aufbau und Technologie

Das für das Projekt konzipierte WebGIS-System besteht aus den drei Komponenten Client (=Internet Browser), zentraler Web-Server mit der Client-Anwendung (=WebGIS Interface) und den Partner-Servern mit den Testgebiets-Daten.

Im WebGIS selbst werden keine räumlichen Analysen durchgeführt. Die Prozessierung der Daten erfolgt bei den Partnern im lokalen GIS. Es werden die Daten von verteilten Datenquellen der Partner-Server gesammelt, visualisiert und in einer verständlichen Weise abgefragt. Die verteilte Datenhaltung ist im Projektkontext das wichtigste Prinzip. Die Partner sind verantwortlich für ihre Testgebiete, die Geodaten verbleiben auf den Partner-Servern und werden von dort aus als WMS (Web Map Service) zur Verfügung gestellt. Die hierfür verwendete Technologie in den Testgebieten ist unterschiedlich (z.B. ArcGIS Server, GeoServer), die Datenstruktur und OGC-Standards (Open Geospatial Consortium) jedoch genau vorgegeben.

Das WebGIS Interface wurde mit Open-Source-Technologien entwickelt und ist plattformunabhängig. Damit ist die Suche nach geeigneten Flächen für die Nutzung der oberflächennahen Energie über die gängigsten Webbrowser möglich. Bei den verwendeten Open-Source Frameworks "OpenLayers" und "ExtJS 4" handelt es sich um JavaScript-Programmierschnittstellen, die es ermöglichen, interaktive Karten mit einer komplexen Benutzeroberfläche zu kombinieren. Die rein clientseitige JavaScript-Anwendung ist nicht von einem bestimmten Server abhängig. OpenLayers grenzt die Karten-Tools klar von den Geodaten ab, damit alle Werkzeuge mit allen unterstützten Arten von Datenquellen funktionieren und verfügt über Schnittstellen zu den standardisierten OGC-Formaten wie z.B. WMS. Die OpenLayers-Funktionen werden mit GUI-Bausteinen von ExtJS 4 erweitert, die man zur gestalterisch anspruchsvollen Darstellung von Kartenfenstern, Werkzeugleisten, Kartenschicht-Bäumen, Legendfenstern usw. benötigt, mit deren Hilfe der Nutzer mit der Anwendung interagieren kann.

Vom Client aus werden WMS-Anfragen an die Partner-Server geschickt, die dann die erwünschten Antworten an den Client zurückgeben. Anfrage- und Antwortformate sind vom OGC standardisiert. Die verwendeten WMS-Anfragen sind *GetMap* (Anforderung eines georeferenzierten Kartenbildes), *GetLegendGraphic* (Anforderung der Legendensymbole) und *GetFeatureInfo* (Anforderung der Attributwerte von Kartenschichten an einem bestimmten Kartenbildpunkt).

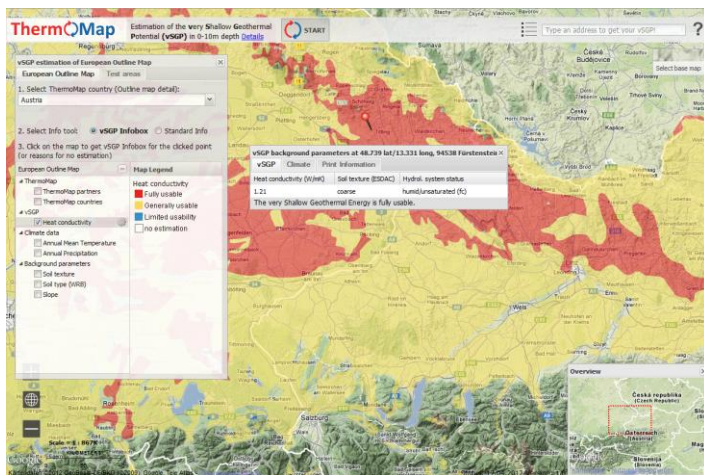
### 2.4. WebGIS Interface (Map-Viewer)

Der ThermoMap-Map-Viewer ist eine Anwendung bzw. Erweiterung einer Map-Viewer-Vorlage, die in Kooperation mit dem GIScience Research Cluster Salzburg entwickelt worden ist (MITTLBÖCK ET AL. 2012). Diese Vorlage setzt den Schwerpunkt auf die Vermittlung von Projektdaten und -ergebnissen, auf Open-Source-Technologie und optimierte Web Mapping Usability (Benutzerfreundlichkeit). Besonders wichtig für die Akzeptanz einer Anwendung ist die Hinführung des Nutzers auf die wesentlichen Projekthinhalte. Dafür

wurden präzise Anweisungen entworfen, die Schritt für Schritt den Arbeitsablauf darlegen. („1. Select test area“, „2. Select Info-Tool“, „3. Click on the map“). Ziel ist das intuitive Verständnis des Anwendungszwecks und der erforderlichen Aktionen, die auf ein Minimum reduziert sind. Mit einem Klick in die Karte wird z.B. immer das Info-Tool zur Attributabfrage aktiviert, Zoomen und Kartenverschieben funktionieren mit der Maus, so wie z.B. bei Google™ Maps. Der Benutzer soll auf keinen Fall durch zu umfangreiche Werkzeuge von dem Wesentlichen abgelenkt werden.

### 3. Ergebnisse

Die Visualisierung der Ergebnisse erfolgt über webbasierte interaktive Karten, die der Öffentlichkeit unter folgendem Link zur Verfügung gestellt werden: (<http://tinyurl.com/7zpmac4>). Die Ergebnisse zeigen räumliche Muster des unterirdischen Wärmestroms. Mit einem speziellen Abfrage-Werkzeug werden den Zielgruppen der Raumplaner, Öffentlichkeit, Industrie, Wissenschaftler und (nicht) behördlichen Einrichtungen interaktive Methoden zur Abschätzung der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität in ihrem räumlichen Planungsgebiet ermöglicht. Vertreter der Zielgruppen gewinnen mit diesen Informationen einen ersten Eindruck über die räumliche Verteilung des Potenzials auf europäischer (Abbildung 1) bzw. regionaler Ebene (Abbildung 2).



**Abbildung 1:** Map-Viewer mit Ansicht der europäischen Übersichtskarte

In der europäischen Übersichtskarte wird das Potenzial in drei Klassen dargestellt ("Uneingeschränkt nutzbar" = rot, "Grundsätzlich nutzbar" = gelb und "Begrenzt nutzbar" = blau). In der zugehörigen Infobox (Abfrage-Werkzeug) werden die Werte Wärmeleitfähigkeit, Bodenart (Korngröße), Hydrologischer Systemzustand (Feuchtigkeit/Sättigung), Jahresgesamtniederschlag und Jahresdurchschnittstemperatur angegeben.

Für die regionalen Testgebiete wird das Potenzial für jede der drei Tiefenstufen in drei Klassen angegeben ("Hohe Leitfähigkeit" = rot, "Normale Leitfähigkeit" = gelb und "Niedrige Leitfähigkeit" = blau). Eine schraffierte Darstellung für die beiden unteren Tiefenstu-

fen zeigt eine Teilverfügbarkeit bei anstehendem Festgestein an. In der Testgebiets-Infofox werden die Werte Verfügbarkeit der gesamten Tiefenstufe, Wärmeleitfähigkeit, Wärmespeicherfähigkeit, Geländeneigung, Dicke der Lockergesteinsschicht, mögliche Nutzungsbeschränkungen, Präzision der verwendeten Korngrößenklassifizierung, Korngrößenklasse nach USDA, hydrologischer Systemzustand, Schwankungsbereich der verfügbaren Wärmeleitfähigkeitswerte (Differenz zwischen Maximum und Minimum), Bodendichte, Jahresgesamtniederschlag und Jahresdurchschnittstemperatur angegeben.

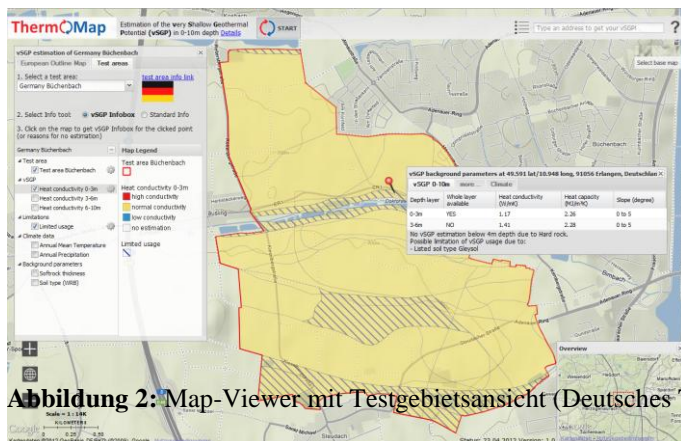


Abbildung 2: Map-Viewer mit Testgebietsansicht (Deutsches Testgebiet)

## 4. Diskussion und Ausblick

Die Flächen mit Nutzungsbeschränkungen (Naturschutzgebiete, ungeeignete Böden und steiles Gelände) wurden in einem ersten Konzept aus der Darstellung herausgenommen. Es sollten lediglich die Gründe für die Nutzungsbeschränkung angegeben werden. Da aber die verwendeten Schwellenwerte z.T. willkürlich gesetzt waren bzw. die Flächen unter Umständen später anders definiert werden könnten, entstand eine Diskussion über diese Ausschlussmethode. Es hätte der Eindruck entstehen können, dass es auf diesen Flächen überhaupt nicht möglich sei, eine geothermische Anlage zu installieren. Die Intention des Projektes ist aber nicht, möglichst viele Beschränkungen zu zeigen, sondern aufzuzeigen, wo eine Nutzung möglich und sinnvoll ist, auch unter gewissen Vorbehalten. Auch um flexibel auf die Ergebnisse der zweiten Projektphase (Verifizierung der Modellierung anhand von Messdaten) reagieren zu können, einigte man sich auf die Darstellung von Potenzialwerten auch für nutzungsbeschränkte Flächen.

Für eine tatsächliche Nutzung ist es notwendig, weitere Detailuntersuchungen von Fachleuten durchführen zu lassen. Bei konkretem Interesse an einer Installation z.B. eines horizontalen Erdwärmekollektorsystems dienen die Abschätzungen als Ausgangspunkt für genauere Messungen und Berechnungen vor Ort. Diese sind auch für die Verifizierung der modellierten Ergebnisse in der zweiten Projekthälfte vorgesehen.

## Literatur

ANGELIS-DIMAKIS, A., BIBERACHER, M., DOMINGUEZ, J., FIORESE, G., GADOCHA, S., GNANSOUNOU, E., GUARISO, G., KARTALIDIS, A., PANICHELLI, L., PINEDO, I.,

- ROBBA, M. 2011. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2): 1182-1200.
- BELMONTE, S., NÚÑEZ, V., VIRAMONTE, J.G., FRANCO, J. 2009. Potential renewable energy resources of the Lerma Valley, Salta, Argentina for its strategic territorial planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (6-7): 1475-1484.
- BERTANI, R. 2005. World geothermal power generation in the period 2001-2005. *Geothermics*, 34 (6): 651-690.
- BERTANI, R. 2012. Geothermal power generation in the world 2005-2010 update report. *Geothermics*, 41 (0): 1-29.
- CHAMORRO, C.R., MONDÉJAR, M.E., RAMOS, R., SEGOVIA, J.J., MARTÍN, M.C., VILLAMAÑÁN, M.A. 2011 in press. World geothermal power production status: Energy, environmental and economic study of high enthalpy technologies. *Energy*, (0).
- DEHNER, U. 2007. Bestimmung der thermischen Eigenschaften von Böden als Grundlage für die Erdwärmenutzung. In: *Mainzer geowissenschaftliche Mitteilungen* 35, S. 159 – 186. Mainz.
- GEMELLI, A., MANCINI, A., LONGHI, S. 2011. GIS-based energy-economic model of low temperature geothermal resources: A case study in the Italian Marche region. *Renewable Energy*, 36 (9): 2474-2483.
- HUTTRER, G.W. 1996. The status of world geothermal power production 1990-1994. *Geothermics*, 25 (2): 165-187.
- HUTTRER, G.W. 2001. The status of world geothermal power generation 1995-2000. *Geothermics*, 30 (1): 1-27.
- KERSTEN, M.S. 1949. Thermal properties of soils.
- LBEG (ed.) 2009. Erstellung von Planungsgrundlagen von Erdwärmekollektoren, Hannover: Dehner, U., Müller, U., Schneider, J. 36 p.
- MITTELBÖCK, M., MORPER-BUSCH, L., ATZL, C., SAGL, G., KLUG, H. 2012. Task orientierte Web-Maps zur kompakten Visualisierung kartographischer Inhalte. In: Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2012, Beiträge zum 24. AGIT-Symposium in Salzburg*, ISBN: xxx, S. xxx-xxx
- MORPER-BUSCH, L., HUBER, D., BERTERMANN, D., BIALAS, C., EINARSSON, G.M., PSYK, M. 2012. ThermoMap-Deliverable D4.2: Training manual for the coordinated analysis of geodata. Salzburg.
- ONDREKA, J., RÜSGEN, M.I., STOBER, I., CZURDA, K. 2007. GIS-supported mapping of shallow geothermal potential of representative areas in south-western Germany—Possibilities and limitations. *Renewable Energy*, 32 (13): 2186-2200.
- RAMACHANDRA, T.V. 2009. RIEP: Regional integrated energy plan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (2): 285-317.
- RAMACHANDRA, T.V., SHRUTHI, B.V. 2007. Spatial mapping of renewable energy potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 (7): 1460-1480.
- ROßNER, R., STOLLHOFEN, H., HAASE, K., ROHN, J., BERTERMANN, D., BIALAS, C., ZISKA, S., KLUG, H., MORPER-BUSCH, L., PSYK, M. 2011. ThermoMap-Deliverable D3.2: Standardisation Instruction Manual. Erlangen.
- TIBA, C., CANDEIAS, A.L.B., FRAIDENRAICH, N., BARBOSA, E.M.D.S., DE CARVALHO NETO, P.B., DE MELO FILHO, J.B. 2010. A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil. *Renewable Energy*, 35 (12): 2921-2932.