

Geothermische Wärmeversorgung von Metropolen aus dem Tiefengestein am Beispiel Berlins

Die geothermische Wärme des Tiefengesteins stellt ein großes Energiepotenzial dar, welches in Deutschland heute noch weitgehend unerschlossen ist. Dieser Beitrag behandelt Fragestellungen zur Erschließung dieses Potenzials speziell in der sedimentär geprägten Nord-Ostdeutschen Tiefebene.

In den porösen Sedimentgesteinen dieses Gebiets liegt heißes Thermalwasser vor, dessen Wärmepotenzial durch Tiefenbohrungen nutzbar gemacht werden kann. Charakteristisch ist ein moderater, beinahe linearer Temperaturverlauf mit einem Temperaturanstieg von ca. 3 °C pro 100 Meter Tiefe. Eine direkte Nutzung dieses hydrothermalen Wärmepotenzials zur Wärmeversorgung ist ab Tiefenlagen von etwa 1500 Metern möglich. Ab ca. 3000 Meter Tiefe erlaubt das Temperaturniveau die Umwandlung des Wärmepotenzials in Strom oder in Kälte.

Für eine erfolgreiche bohrtechnische Erschließung des hydrothermalen Potenzials müssen gewisse geophysikalische Randbedingungen im Untergrund vorliegen. Außerdem erfordert eine wirtschaftliche Nutzung eine optimale Einbettung solcher Systeme in die lokalen Energie-Versorgungsstrukturen an der Erdoberfläche. Eine wirtschaftliche Erschließung des Potenzials speziell zu Heizzwecken könnte einen signifikanten Beitrag für zukünftige Wärmeversorgungs-Szenarien in urbanen Räumen liefern. Dieser Beitrag behandelt diese Möglichkeit am Beispiel Berlins und schlägt Maßnahmen zur Entwicklung dieses Potenzials vor. Berlin dient hierbei als Fallbeispiel, da seine geologischen Bedingungen als repräsentativ für das Norddeutsche Becken angesehen werden können.

Die geologische Struktur des Untergrunds wird auf der Grundlage vorhandener Bohrungen interpretiert. Im Berliner Umland befinden sich sechs tiefe Bohrungen (tiefer als 1,5 km): In Velten, Oranienburg, Seefeld, Rüdersdorf, Groß Ziethen und in Potsdam; im Berliner Stadtgebiet liegen zwei weitere tiefe Bohrungen, im Westen (Grunewald) und im Osten (Wartenberg). Diese Bohrungen liefern das einzige gesicherte Wissen zur geologischen Situation der Region bis zu ca. 4 km Tiefe. Alle diese Bohrungen weisen zwei Gesteinsformationen aus, die prinzipiell für eine geothermische Nutzung in Frage kommen: Der Buntsandstein und das Sedimentär Rotliegend. Es handelt sich um Sandsteine, deren Gesteinsporen heißes Wasser enthalten. Diese Formationen liegen im Be-

reich Berlins flächendeckend in variabler Tiefenlage und mit unterschiedlicher Mächtigkeit vor: In den genannten Bohrungen wird der Buntsandstein in Tiefen von ca. 500–3000 Metern angetroffen, das Sedimentär Rotliegend in Tiefen von ca. 3200–4800 Metern. Entsprechend der Tiefenlagen variieren die Gesteinstemperaturen des Buntsandsteins etwa zwischen 20 und 100 °C und die des Sedimentär Rotliegend etwa zwischen 100 und 150 °C. Das Porenwasser des mittleren Buntsandsteins kann daher zum direkten Heizen von Gebäuden und im höheren Temperaturbereich unter Verwendung von Absorptionskälteanlagen auch zur Kühlung verwendet werden, während das Porenwasser des Sedimentär Rotliegend sich auch zur Erzeugung von Strom eignet. Man spricht von hydrothermalen Geothermie, da der Wärmeträger Wasser ist, der durch Bohrungen direkt erschlossen werden kann.

Das hydrothermale Potenzial zur Gebäudebeheizung in Berlin

Die Berliner Senatsverwaltung weist in der Studie „Energiekonzept 2020 – Energie für Berlin“ [1] einen Gesamtwärmebedarf von 40,166 Terawatt-Stunden für das Jahr 2005 aus. Diese Wärmemenge wurde fast gänzlich aus fossilen Energieträgern produziert; erneuerbare Energiequellen spielten mit einem Anteil von 0,13 % eine vernachlässigbare Rolle.

Welchen Beitrag könnte die hydrothermale Geothermie zur Deckung des Wärmebedarfs in Berlin leisten? Das Wärmepotenzial Berlins kann auf der Grundlage geologischer Modelle abgeschätzt werden. Diese Modelle liefern Potenzialkarten, wie sie in [Abbildung 1](#) für den mittleren Buntsandstein und das Sedimentär Rotliegend dargestellt sind.

Solche Potenzialkarten basieren auf Strukturmodellen des Berliner Untergrunds, die am Deutschen GeoForschungszentrum entwickelt werden [2, 3, 4, 5]. Sie enthalten Informationen zur Tiefenlage der hydrothermalen Gesteinsschichten und deren Mächtigkeit; weitere Parameter wie die Temperatur, die Gesteinsporosität und relevante Zustandsgleichungen werden statistisch aus vorhandenen Bohrlochmessungen abgeleitet.

Das in [Abbildung 1](#) dargestellte Ergebnis einer solchen Potenzialberechnung liefert die im Porenwasser enthaltene Wärmenergiedichte pro Quadratmeter



GFZ

PD Dr.-Ing. Oliver Kastner
oliver.kastner@gfz-potsdam.de

Prof. Dr. Ernst Huenges
huenges@gfz-potsdam.de

Berliner Gaswerke
Aktiengesellschaft

Dr.-Ing. Stefan Bredel-Schürmann
sbredel-schuermann@gasag.de

TU München

Prof. Dr. Thomas H. Kolbe
kolbe@igg.tu-berlin.de

Geothermie
Neubrandenburg GmbH

Dr.-Ing. Frank Kabus
gtn@gtn-online.de

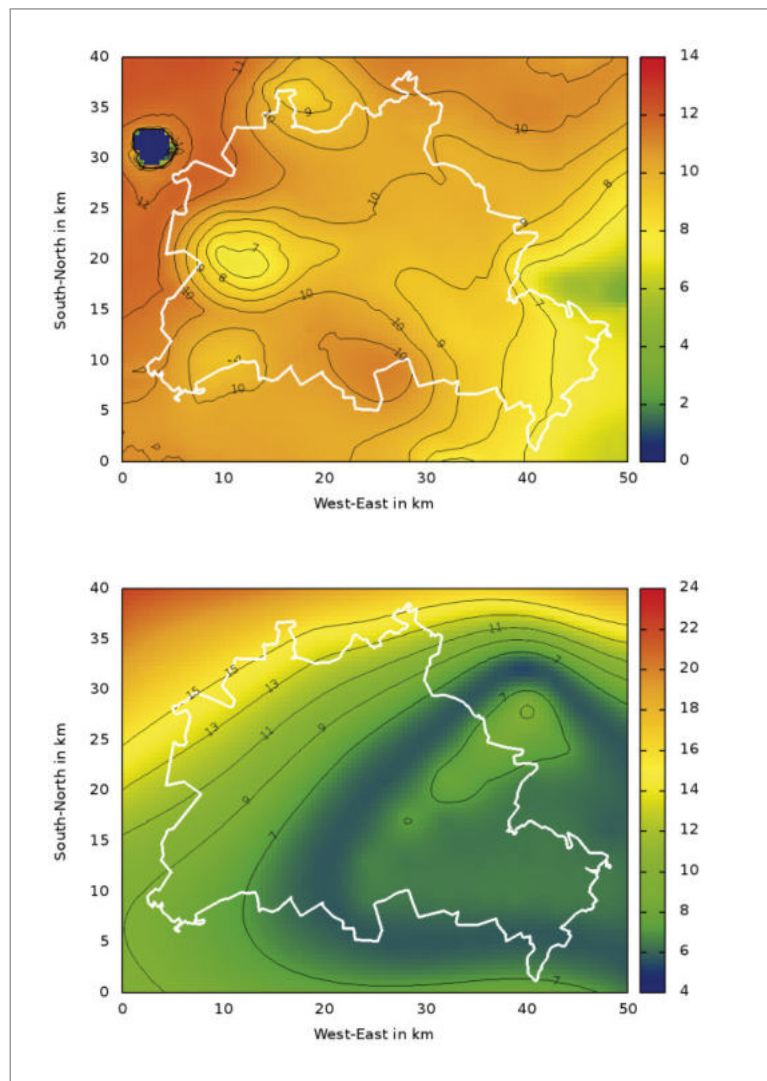


Abbildung 1
 Hydrothermales
 Wärmepotenzial des
 mittleren Buntsand-
 steins (a) und des Sedi-
 mentär Rotliegend (b)
 im Bereich Berlins nach
 Modellrechnungen.
 Die Farbskala kodiert die Energie-
 dichten der im Porenwasser vor-
 handenen Wärme in Gigajoule pro
 Quadratmeter an der Oberfläche.
 Der Umriss des Landes Berlin ist
 durch einen weißen Linienzug
 skizziert. [5]

Grundfläche. Im Berliner Durchschnitt sagt das Modell für das Porenwasser des mittleren Buntsandsteins eine Energiedichte von etwa 10 Gigajoule pro Quadratmeter voraus, (Abb. 1a). Im Berliner Stadtgebiet erwartet man diese Gesteinsformation in Tiefen von 1670–1870 Metern, wo die Temperatur ca. 60–70 °C beträgt. Ein ähnlicher Wert wird für das Porenwasser des Sedimentär Rotliegend ausgewiesen, (Abb. 1b), ebenfalls ca. 10 Gigajoule pro Quadratmeter. Das Strukturmodell prognostiziert das Sedimentär Rotliegend in einer Tiefe von 3340–3520 Metern bei Temperaturen von ca. 120–130 °C. Das Sedimentär Rotliegend ist heißer, besitzt allerdings eine geringere Porosität als der Buntsandstein und enthält damit weniger Porenwasser.

Mit diesen Zahlen kann eine Abschätzung des Wärmepotenzials des porengelagerten Thermalwassers vorgenommen werden. Dazu müssen die ermittelten Energiedichten mit der Landesfläche Berlins von ca. 892 km² multipliziert werden. Diese Überschlags-

rechnung liefert eine Wärmemenge von ca. 2,4 Petawatt-Stunden Wärmeinhalt im Porenwasser des mittleren Buntsandsteins und ca. 2,5 Petawatt-Stunden im Porenwasser des Sedimentär Rotliegend. Zusammen entspricht die im Porenwasser der beiden Formationen vorhandene Wärme damit dem ca. 125-fachen des Berliner Wärmebedarfs des Jahres 2005. Diese beträchtliche Wärmemenge beinhaltet dabei noch nicht die in der Gesteinsmatrix gespeicherte Wärme, deren Betrag allein in diesen beiden Formationen dreimal so groß ist, wie der des Porenwassers. Das Modell sagt also ein beachtliches hydrothermales Potenzial für Berlin voraus.

Wirtschaftlichkeit geothermischer Energieversorgung

Warum wurde dieses Potenzial noch nicht erschlossen? Man muss verstehen, dass die Potenzialabschätzung nichts darüber aussagt, wie groß der förderbare

Anteil dieser Wärme ist. In der Tat muss zur Bewertung der Ergiebigkeit einer hydrothermalen Anlage – und damit ihrer Wirtschaftlichkeit – die geologische Situation am Bohrpunkt relativ genau bekannt sein. Die unvollständige Datenlage, die in der Modellrechnung durch statistische Methoden kompensiert wurde, verursacht im Rahmen der Erschließung ein Fündigkeits- und Förderrisiko.

In *Abbildung 2* ist dieses Risiko anhand der Geoparameter Temperatur und Gesteinsporosität illustriert. Die Punkte geben Messwerte aus Bohrungen im Nordostdeutschen Sedimentbecken wieder. Die Schwankungsbreiten der dargestellten Größen sind beachtlich; sie sind für das Fündigkeits- und Förderrisiko mit verantwortlich. In wirtschaftlicher Hinsicht bilden sie ein Investitionsrisiko ab, welches die unternehmerische Erschließung des hydrothermalen Potenzials in Berlin bisher verhindert hat. Das Fündigkeitsrisiko – und das daraus resultierende Investitionsrisiko – kann nur durch bohrtechnische Erkundungen sicher gesenkt werden und adressiert einen öffentlichen Forschungsbedarf.

Für ein Voranschreiten auf der technologischen Lernkurve ist es auch wichtig, dass einzelne Demonstrationsprojekte realisiert werden. Solche Projekte sind auch nötig, um die Wirtschaftlichkeit nachzuweisen und so Vertrauen in die neue Technologie aufzubauen. Hydrothermale Systeme verursachen auf der einen Seite hohe Investitionen für Erschließungsbohrungen und für die obertägigen Anlagen. Auf der anderen Seite sind die Betriebskosten wegen der entfallenden Brennstoffkosten vergleichsweise niedrig. Hydrothermale Systeme eignen sich daher besonders gut zur Deckung des Grundlastbedarfs. Um als neue Technologie in Konkurrenz zu fossilen Energieträgern Erfolg haben zu können, müssen die Demonstrationsprojekte eine gewisse Mindestgröße aufweisen; es handelt sich um Projekte zur Grundlastversorgung auf Stadtquartiersebene.

Systemische Einbindung

Voraussetzung für die erfolgreiche Implementierung der hydrothermalen Technologie ist ihre optimale Einbettung in die Bedarfsstrukturen. Zur Bewertung von Versorgungsszenarien werden hier Planungswerkzeuge benötigt, die stadtteilbezogene Angebots- und Bedarfsanalysen unter Berücksichtigung infrastruktureller Besonderheiten ermöglichen. Im Rahmen des von der EU ko-finanzierten Forschungsprojekts „Energieatlas Berlin“ wird ein solches Werkzeug derzeit an der Technischen Universität Berlin und der Technischen Universität München erarbeitet [9, 10]. Es handelt sich um ein innovatives Geoinformationssystem zur gebäudescharfen Erfassung des urbanen

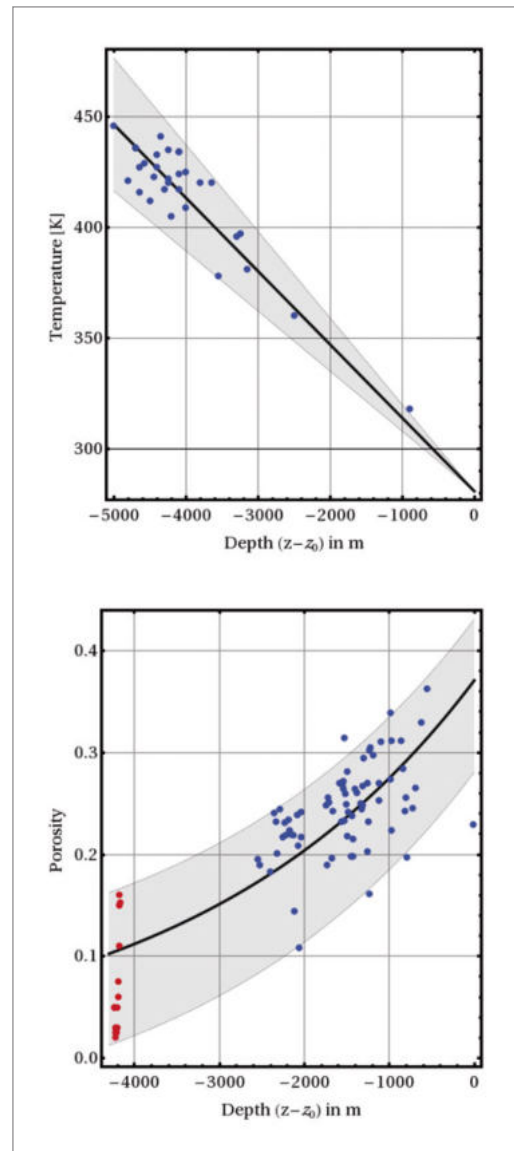


Abbildung 2
Varianzen der Geoparameter Temperatur (in Kelvin) (a) und Porosität (b) im Nordostdeutschen Becken als Funktion der Tiefe. Daten nach [6,7,8].

Wärmebedarfs für Berlin. Die Datenbasis dieses Systems wurde um das tiefe geothermische Wärmepotenzial erweitert. Durch die Verknüpfung von Informationen zum obertägigen Wärmebedarf und untertägigen Wärmepotenzial wird eine energietechnische und wirtschaftliche Bewertung von Versorgungsszenarien ermöglicht.

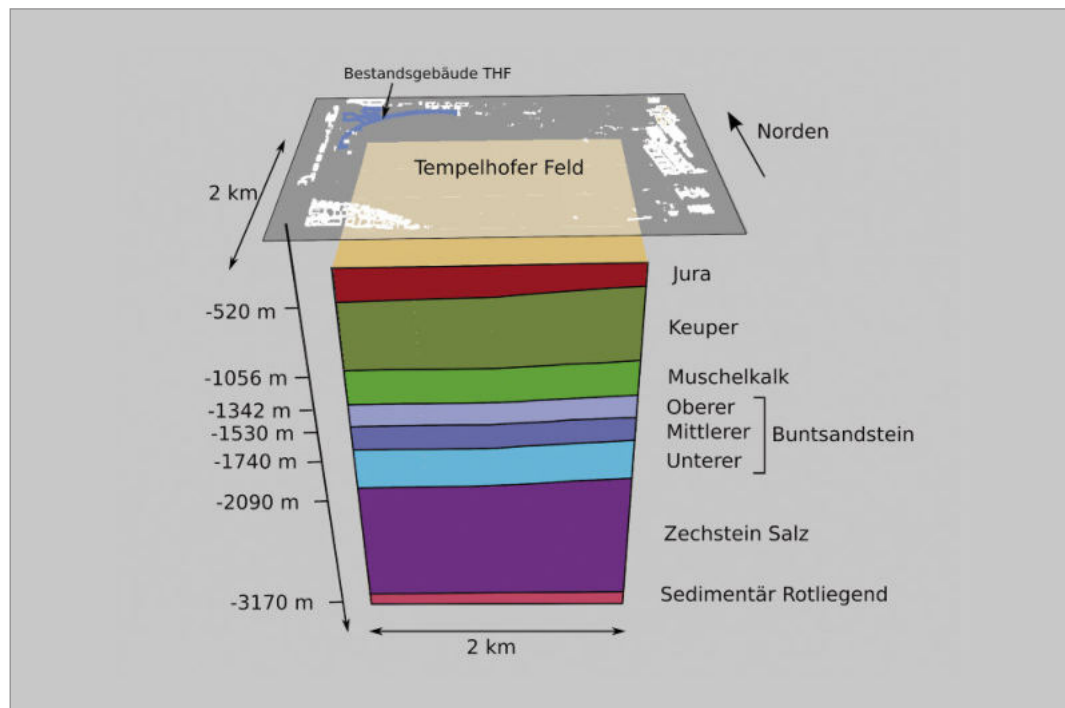


Abbildung 3
Projektstudie zur möglichen Grundlastversorgung des geplanten Stadtquartiers auf dem ehemaligen Tempelhofer Flugplatz. [9]

Demonstrationsprojekt Berlin Tempelhof

Ein möglicher Standort für ein Demonstrationsprojekt zur hydrothermalen Grundlastversorgung könnte das derzeit in Planung befindliche, neue Stadtquartier auf dem ehemaligen Berliner Flughafen Tempelhof darstellen. *Abbildung 3* zeigt eine perspektivische Darstellung des Tempelhofer Felds mit seinen angrenzenden Gebäuden; die Abbildung ist dem Energieatlas Berlin entnommen. In blau hervorgehoben ist das bogenförmig angeordnete Bestandsgebäude des Flughafens im Bereich Tempelhofer Damm/Columbiadamm. Die Bestandsgebäude des ehemaligen Flughafens haben einen jährlichen Wärmebedarf von ca. 40 Gigawatt-Stunden. Ein zusätzlicher Heizbedarf könnte durch die teilweise Bebauung des ehemaligen Flugfelds hinzukommen; hier wird ebenfalls ein Bedarf von ca. 40 Gigawatt-Stunden pro Jahr erwartet.

In *Abbildung 3* ist das Flugfeld und die darunter liegende Geologie des Untergrunds aus der Vogelperspektive dargestellt. Die interessanten hydrothermalen Reservoirhorizonte sind der mittlere Buntsandstein und das Sedimentär Rotliegend. Für das hier dargestellte, vier Quadratkilometer große Areal unter dem Tempelhofer Flugfeld liefert das Potenzialmodell eine Wärmemenge von etwa 10.800 Gigawatt-Stunden im Thermalwasser des mittleren Buntsandsteins, beziehungsweise von etwa 6.400 Gigawatt-Stunden im Sedimentär Rotliegend. Im Bereich des ehemali-

gen Flughafens Tempelhof könnte das vorhandene Wärmepotenzial den erwarteten jährlichen Bedarf folglich um das 217-fache übertreffen. Der Bedarf könnte also leicht aus dem hydrothermalen Potenzial gedeckt werden.

Eine von der Berliner GASAG in Auftrag gegebenen Seismik auf dem ehemaligen Tempelhofer Flugfeld hat die vom Strukturmodell vorhergesagten Gesteinsformationen des mittleren Buntsandsteins und des Sedimentär Rotliegend bestätigt. Eine GASAG Projektstudie geht im Falle einer Erschließung von einer Förderrate von ca. 50 m³/h Heißwasser aus dem Sedimentär Rotliegend aus. Eine solche hydrothermale Anlage könnte eine Leistung von 5 Megawatt (th.) haben. Die Investitionen werden auf ca. 25 Millionen geschätzt.

Die tiefe Geothermie könnte also signifikant zur urbanen Grundlastversorgung beitragen. Berlin ist hierzu ein repräsentatives Beispiel, da es eine mit vielen Städten in Deutschland vergleichbare geologische Situation hat. Obwohl eine günstige Potenzialprognose vorliegt, hat das lokale Fündigkeitsrisiko auch in Tempelhof bisher eine Erschließungstätigkeit verhindert. Voraussetzung für unternehmerische Initiativen ist hier die Senkung dieses Risikos durch vorhergehende bohrtechnische Erkundungen des Untergrunds.

Fazit

Zusammenfassend können wir zwei Aktivitätsfelder zur Entwicklung der hydrothermalen Geothermie benennen:

Erstens geht es um die wissenschaftliche Erkundung des Untergrundes an relevanten Orten mit hinreichender räumlicher Auflösung. Wir sehen diese Erkundungsarbeit als öffentliche Aufgabe an. Es besteht Forschungsbedarf und im Rahmen der Energiewende liegt gesellschaftliche Relevanz vor. In diesem Zusammenhang geht es auch um eine unabhängige Bewertungen aller sicherheitsrelevanten, geologischen Fragestellungen.

Zweitens geht es um die Entwicklung von Implementierungsstrategien der neuen Technologie im Rahmen von Demonstrationsprojekten. Eine systematische Bestandsaufnahme geeigneter Stadtquartiere kann auf der Grundlage von innovativen Geoinformationssystemen durchgeführt werden, die eine integrale Bewertung der vorliegenden Bedarfsstrukturen und des vorhandenen Geopotenzials erlauben. In diesem Zusammenhang sehen wir die Realisierung solcher Demonstrationsprojekte als unternehmerische Aufgabe der Teilnehmer am Wärmemarkt an. Öffentliche Investitionshilfen bei der Technologieentwicklung oder dem Aufbau von freien Wärmenetzen könnten nötig sein, um den strukturellen Vorteil der konventionellen Versorgung aus fossilen Brennstoffen auszugleichen, die als Vergleichstechnologie die Wirtschaftlichkeitsanalysen der hydrothermalen Technologie maßgeblich beeinflusst.

Referenzen

- [1] Berliner Energieagentur GmbH und Institut für ökologische Wirtschaftsforschung im Auftrag der Berliner Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Frauen, Energiekonzept 2020 – Energie für Berlin, <http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-wirtschaft/energie/energiekonzept.pdf?download.html>, 2011
- [2] V. Noack, Y. Cherubini, M. Scheck-Wenderoth, B. Lewerenz, T. Höding, A. Simon und I. Moeck. Assessment of the present-day thermal field (NE German Basin) – Inferences from 3D modelling. *Chemie der Erde* 2010, 70(S3): 47–62
- [3] A. Jaroch. Stratifizierung des hydrogeologischen 3D Modells von Berlin unter Berücksichtigung qualifizierter Bohrungsinformationen. Diplomarbeit, Technische Universität Berlin 2006
- [4] J. Sippel, S. Fuchs, M. Cacace, O. Kastner, E. Huenges und M. Scheck-Wenderoth. Deep 3D thermal modelling for the city of Berlin (Germany). Submitted to *Environmental Earth Sciences*, 2012.
- [5] O. Kastner, J. Sippel, M. Scheck-Wenderoth und E. Huenges. The deep geothermal potential of the Berlin area. Submitted to *Environmental Earth Sciences*, 2012.
- [6] A. Förster. Analysis of borehole temperature data in the Northeast German Basin: continuous logs versus bottom-hole temperatures. *Petroleum Geoscience* 7(3):241–254, 2001.
- [7] M. Wolfgramm, K. Rauppach and P. Seibt. Reservoir-geological characterization of Mesozoic sandstones in the Northern German Basin by petrophysical data. *Z. Geol. Wiss., Berlin*, 2008.
- [8] U. Trautwein. Poroelastische Verformung und petrophysikalische Eigenschaften von Rotliegend Sandsteinen. Dissertation, Technische Universität Berlin, 2005.
- [9] Energieatlas Berlin. EU ko-finanziertes Forschungsprojekt im Climate Knowledge and Innovation Community des European Institute of Technology (EIT Climate KIC). http://www.climate-kic.org/fileadmin/climatekicorg/all/global/_innovation/Energy_Atlas.pdf
- [10] D. Carrion, A. Lorenz and T. H. Kolbe. Estimation of the energetic rehabilitation state of buildings for the city of Berlin using a 3D city model represented in CityGML, Proceedings of the 5th International 3D GeoInfo Conference, Nov. 3–4, 2010, Berlin, Germany. *Int. Arch. Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Inform. Sci.*, XXXVIII-4/W15, 31–35