

Berlin, 28.11.2013

Potenzialstudie zur Nutzung der geothermischen Ressourcen des Landes Berlin

Zusammenfassung der Berichte (Modul 1 bis 3)

„Dieses Projekt wurde im Rahmen des Umweltentlastungsprogramms II aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) und dem Land Berlin gefördert.“



Kurzfassung	1
Das geothermische Potenzial im Land Berlin.....	1
1 Aufgabenstellung	4
2 Vorhaben / Ziel	4
3 Ausgangslage	4
4 Vorgehensweise zur Potenzialermittlung Module 1, 2 und 3	6
4.1 Modul 1.....	8
4.1.1 Ressourcenklasse 1	8
4.1.2 Ressourcenklasse 2 und 3	10
4.2 Modul 2.....	13
4.2.1 Ressourcenklasse 1	13
4.2.2 Ressourcenklasse 2 und 3	15
4.3 Modul 3.....	19
4.3.1 Ressourcenklasse 1	19
5 Ergebnisse	29
5.1 Oberflächennahe Geothermie.....	31
5.2 Tiefe Geothermie	32
5.3 Nutzungseinschränkungen.....	34
6 Bewertung	36
6.1 Nutzen und Verwertbarkeit	36
7 Quellen	37

KURZFASSUNG

Das geothermische Potenzial im Land Berlin

Der Untergrund von Berlin stellt ein riesiges Wärmereservoir dar. Mit zunehmender Tiefe steigt die Temperatur der Erdschichten – etwa um 2,5 bis maximal 3 Grad je 100 m (geothermischer Gradient) und im Innenstadtbereich ist bis in ca. 100 m Tiefe die Temperatur aufgrund anthropogener Einflüsse deutlich erhöht.

Oberflächennahe Schichten eignen sich für die Nutzung von Wärme für Heizung und Wassererwärmung mittels Wärmepumpen, Erdschichten unterhalb von 1.000 m Tiefe erlauben eine direkte Wärmenutzung.

Um heute wirtschaftlich Strom zu produzieren, sind Temperaturen von über 100 °C notwendig, was Bohrungen von mehreren Kilometern Tiefe erforderlich macht.

Für die zukünftige Energieversorgung von Berlin werden einheimische, erneuerbare und nachhaltige Energieträger eine zunehmend größere Rolle spielen. Ein Baustein für die Energieversorgung in Berlin ist dabei die Geothermie.

Vor diesem Hintergrund ist im Rahmen der Nutzung der geothermischen Ressourcen im Land Berlin eine Potenzialstudie als wissenschaftliche Grundlagenermittlung angefertigt worden.

Im Rahmen dreier Bearbeitungsmodule wurden

- die vorhandenen Daten zur Beschreibung und Ermittlung der geothermischen Ressourcen zusammengestellt und ausgewertet,
- ein dreidimensionales Modell für den Berliner Untergrund erstellt, das die geologische Situation von der Erdoberfläche bis in eine Tiefe von 5.000 m darstellt,
- Karten für den oberflächennahen Untergrund bis in 100 m Tiefe angefertigt, die für mehrere Tiefenabschnitte Informationen über das nutzbare geothermische Potenzial durch Erdwärmesonden qualitativ bereitstellen und für Planungszwecke und Genehmigungsverfahren genutzt werden können sowie
- beispielhaft für drei ausgewählte unterschiedliche Gebiete im Land Berlin auf Grundlage eines numerischen Wärmetransportmodells die thermischen Auswirkungen einer oberflächennahen Erdwärmenutzung untersucht.

Auf Grundlage unterschiedlicher Vorgehensweisen und Betrachtungsschwerpunkte sind in der Potenzialstudie zusätzlich für drei definierte Ressourcenklassen

- **Ressourcenklasse 1** - oberflächennahe Ressourcen, 0 bis 100 m Tiefe,
- **Ressourcenklasse 2** - heute verfügbare Ressourcen, 100 m Tiefe bis 100 °C und
- **Ressourcenklasse 3** – mit heutiger Technologie erschließbare Ressourcen, mehr als 100 °C bis maximal 5.000 m Tiefe

die vorhandenen und nutzbaren energetischen Potenziale qualitativ und/oder quantitativ geschätzt worden.

Im Land Berlin ist für den Tiefenbereich zwischen 0 und 100 m (Ressourcenklasse 1) die gespeicherte Wärme mit rd. 160.000 GWh geschätzt worden. Bei dieser Angabe ist zu beachten, dass nur der Wärmeanteil berücksichtigt worden ist, der sich aus der Differenz aus den tatsächlichen durch die Besiedlung anthropogen veränderten Untergrundtemperaturen und den ursprünglich ungestörten Untergrundtemperaturen ergibt ($\Delta T = 3K$).

Die mit heutiger Technologie nutzbare Wärme wurde im Mittel mit rd. 5.000 GWh pro Jahr geschätzt. Dies entspricht rd. 13 % des Wärmebedarfs im Land Berlin für das Jahr 2006.

Für die Ressourcenklasse 2 – diese umfasst einen Tiefenbereich zwischen 100 m und 100 °C (diese Temperaturen werden in einem Tiefenbereich zwischen ca. 3.000 bis 3.700 m erreicht) - sind nur zwei Nutzungshorizonte vorhanden, die evtl. eine wirtschaftliche geothermische Energiegewinnung zulassen.

Die gespeicherte Wärme wurde für diese beiden Nutzungshorizonte mit rd. 1.000.000 GWh und der nutzbare Wärmeanteil mit Werten zwischen 660 GWh und 15.800 GWh geschätzt.

Dies entspricht rd. 2 % bis rd. 40 % des Wärmebedarfs im Land Berlin der im Jahr 2006 bei rd. 39.000 GWh lag.

Für das nutzbare geothermische Potenzial der Ressourcenklasse 3 wurde in keinem der drei Bearbeitungsmodule der Potenzialstudie eine Prognose abgegeben. Die Datenlage ist als zu unsicher und nicht belastbar eingestuft worden, um eine fundierte Prognose abgeben zu können.

Bei den abgegebenen Prognosen sind sehr deutliche Unterschiede in Hinblick auf die Größenordnung des nutzbaren Wärmeanteils festzustellen.

Die Unterschiede erklären sich durch die zum Zeitpunkt der Schätzung vorhandene Prognosegrundlage, durch das jeweils angewendete Ermittlungsverfahren und inwieweit bei der Nutzung eine „starke“ Nachhaltigkeit berücksichtigt wird¹.

Für den oberflächennahen Untergrund bis in 100 m Tiefe wurde z. B. das Potenzial für eine charakteristische mittlere Entnahmeleistung einer Erdwärmesonde zugrunde gelegt. In Abhängigkeit davon, ob bei der Nutzung der geothermischen Ressource eine „starke“ Nachhaltigkeit unterstellt wird oder die im Land Berlin minimal möglichen Anlagenabstände angewendet werden, ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse in Hinblick auf die mögliche Anlagenanzahl. In der Folge variiert der prognostizierte nutzbare Wärmeanteil deutlich.

Für den tieferen Untergrund bildeten unterschiedliche Untergrundmodelle die Prognosebasis.

Bei der ersten Schätzung im Modul 1 wurde ein einfaches konzeptionelles Untergrundmodell verwendet, während die Schätzung im Modul 2 auf einem komplexen dreidimensionalen geologischen und geothermischen Modell auf Grundlage einer umfangreichen Auswertung des Datenmaterials basiert.

Unterschiedliche Annahmen zur Verbreitung und Ergiebigkeit der Nutzungshorizonte und die Art der Gewinnung führen zu weiteren Unterschieden bei den geschätzten nutzbaren Wärmeanteilen.

¹ Die „starke“ Nachhaltigkeit konzentriert sich auf die Unversehrtheit einer Ressource, um deren Nutzung zu erhalten. Dies bedeutet, dass erneuerbare Ressourcen nur in dem Maße genutzt werden dürfen, in dem diese sich regenerieren (s. a. Kapitel 5.1).

1 AUFGABENSTELLUNG

Zusammenfassung der Potenzialstudie zur Nutzung der geothermischen Ressourcen im Land Berlin, Module 1 bis 3.

Diese hat das Ziel, die umfangreichen Ergebnisse der drei Gutachten auf die wesentlichen Aspekte zu fokussieren. Dabei wird

- die Ausgangslage und Aufgabenstellung,
- der Untersuchungsgegenstand und die Methodik sowie
- die wesentlichen Ergebnisse

in Kurzform wiedergegeben.

Ein weiterer Punkt liegt auf der Darstellung des Nutzens und der Verwertbarkeit. Den Abschluss bildet eine Bewertung zur Nutzung der geothermischen Ressourcen des Landes Berlin.

Der Zusammenfassung ist eine Kurzfassung in allgemein verständlicher Ausdrucksweise vorangestellt, die sich im Schwerpunkt auf die Potenziale zur Nutzung von Erdwärme im Land Berlin konzentriert.

2 VORHABEN / ZIEL

Für die zukünftige Energieversorgung von Berlin werden einheimische, erneuerbare und nachhaltige Energieträger eine zunehmend größere Rolle spielen. Ein Baustein für die Energieversorgung in Berlin ist dabei die Geothermie.

Vor diesem Hintergrund sollte im Rahmen einer Potenzialstudie zur Nutzung der geothermischen Ressourcen im Land Berlin auf der Basis schon existierender Daten

- das verfügbare geothermische Potenzial und die spezifischen Rahmenbedingungen (z. B. Beschränkungen) für dessen Nutzung dargestellt und
- eine einheitliche Datenbasis über die thermischen und hydraulischen Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Porosität, Permeabilität) für die fundierte Planung von Anlagen zur Nutzung thermischer Energie aus dem Untergrund und einer sachgerechten Bewertung dieser Anlagen im Rahmen der Erlaubniserteilung erstellt werden.

3 AUSGANGSLAGE

Für das Land Berlin liegen umfangreiche Datenbestände zur Geologie und Hydrogeologie, den geothermischen Eigenschaften des Untergrundes in Datenbanken, Kartenwerken, Gutachten, Feld- und Labormessungen vor.

Die vorhandene Datenbasis war jedoch uneinheitlich und in Hinblick auf die Ermittlung des verfügbaren geothermischen Potenzials als auch für eine fundierte einheitliche Planung von Anlagen zur Erdwärmennutzung in der Form nicht nutzbar.

Um das umfangreiche und komplexe Datenmaterial zu bearbeiten, wurde die Potenzialstudie in drei Module unterteilt mit jeweils unterschiedlichen Aufgabenstellungen und zeitlicher Abfolge für die Bearbeitung.

1. Bearbeitungsschritt

- **Modul 1:** Recherche und Grundlagenermittlung.

2. Bearbeitungsschritt

- **Modul 2:** Ermittlung des geothermischen Potenzials und deren Darstellung.
- **Modul 3:** Thermisch-hydraulische Modellierungen und Verifizierung der Ergebnisse auf Grundlage von Messdaten.

Die wesentlichen Bearbeitungspunkte in den einzelnen Modulen waren:

Modul 1

- Die Sichtung der im Land Berlin vorhandenen Daten und deren Bewertung in Hinblick auf die Erstellung eines dreidimensionalen Untergrundmodells zur Ermittlung des thermischen Potenzials für den oberflächennahen Untergrund.
- Die Ableitung der Anforderungen an die Nutzungen von oberflächennaher und tiefer Geothermie im Land Berlin.
- Eine erste qualitative Einschätzung der wahrscheinlich vorhandenen geothermischen Ressource im tieferen Untergrund von Berlin und Möglichkeiten der Nutzung.
- Eine erste Prognose des geothermischen Potenzials im oberflächennahen und tieferen Untergrund von Berlin.
- Konkretisierung der Aufgabenstellung für die nachfolgenden Module Modul 2 und Modul 3.

Modul 2

- Die Erstellung von dreidimensionalen Untergrundmodellen für drei unterschiedliche Ressourcenklassen:
 - Ressourcenklasse 1: bis 100 m.
 - Ressourcenklasse 2: über 100 m bis 100 °C.
 - Ressourcenklasse 3: über 100 °C.
- Aussagen zum geothermischen Potenzial der jeweiligen Ressourcenklasse auf Grundlage des entsprechenden dreidimensionalen Untergrundmodells.
- Die Anfertigung von einheitlichen Flächenkarten der geothermischen Ergiebigkeit im Maßstab 1:50.000 für den Einsatz von Erdwärmesonden in unterschiedlichen Bezugstiefen zwischen 0 und maximal 100 m jeweils für 1.800 und 2.400 Jahresbetriebsstunden.

Modul 3

- Die modellhafte Untersuchung des energetischen Potenzials für die Nutzung oberflächennaher Erdwärme durch Erdwärmesonden für drei unterschiedliche Besiedlungs- und Nutzungssituationen im Land Berlin unter Berücksichtigung der jeweils lokalen thermischen Regenerationsfähigkeit des Untergrundes.
- Die Quantifizierung des Energieanteils, der durch Erdwärmesonden in Zeit und Raum nutzbar ist, ohne dass langfristig die anthropogen unbeeinflusste (natürliche) Untergrundtemperatur unterschritten wird.
- Mögliche Handlungsempfehlungen und Kriterien zur Festlegung von Mindestabständen für einzelne Erdwärmennutzungsanlagen im Land Berlin.
- Die Formulierung von Kriterien zur Festlegung sinnvoller Bilanzierungsgebiete zur Ermittlung des nutzbaren Wärmepotenzials im Land Berlin.

Die Festlegung der Modellgebiete erfolgte unter Anwendung der folgenden Kriterien:

- a) Innenstadtbereich mit dichter Wohnbebauung und anthropogenen Wärmeeinträgen durch Heizungskeller, Gebäudekühlung, U-Bahn usw.; hohe Bodenversiegelung (> 60 %) im Bereich des Urstromtals.
- b) Wohngebiet mit aufgelockerter Wohnbebauung sowie Grün- und Freiflächen; geringer bis mittlerer Versiegelungsgrad (30 % bis 50 %) im Bereich der Teltow-Hochfläche.
- c) Wohngebiet mit aufgelockerter Wohnbebauung sowie Grün- und Freiflächen; geringer Versiegelungsgrad (< 30 %) am Stadtrand im Bereich der Barnim-Hochfläche.

4 VORGEHENSWEISE ZUR POTENZIALERMITTLUNG MODULE 1, 2 UND 3

Grundsätzlich ist die Art und Weise der Nutzung geothermischer Energie von der Temperatur des Vorkommens abhängig.

Die oberflächennahe Erdwärme mit allgemeinen Temperaturen von ca. 10 °C lässt sich in der Regel nur mit einer Wärmepumpe z. B. in Kombination mit einer Erdwärmesonde nutzen, die Wärme für Raumheizung und die Wassererwärmung erzeugt.

Mit zunehmender Tiefe steigt die Untergrundtemperatur an, daher kann ab einer bestimmten Tiefe (ab ca. 1.000 m) die Untergrundwärme z. B. über tiefe Erdwärmesonden oder hydrothermale Dublettensysteme auch direkt genutzt werden.

Ist neben einer Nutzung der Untergrundwärme auch eine Stromerzeugung mit Dampfturbinen beabsichtigt (durch z. B. „Organic Rankine Cycle“-Prozess (ORC)), sind in der Regel Temperaturen von über 100 °C erforderlich. Die dafür geeigneten Nutzungshorizonte liegen in Berlin in der Regel drei bis fünf Kilometer unter der Erdoberfläche.

Vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Kriterien zu vorhandenen technischen Möglichkeiten einer geothermischen Nutzung wurden im Modul 1 drei Ressourcenklassen definiert:

Ressourcenklasse 1 - oberflächennahe Ressourcen (0 bis 100 m)

Hierbei handelt es sich um geothermische Ressourcen, die in der Regel durch Wärmepumpen in Kombination mit Erdwärmesonden oder Entnahme- und Rückgabebrunnen genutzt werden und Heizwärme bereitstellen.

Aus Gründen des Grundwasserschutzes ist im Land Berlin die maximale Bohrtiefe bei der Errichtung von Erdwärmesonden auf 100 m Tiefe begrenzt worden. Daher wurde die Bewertung der oberflächennahen Ressource bis in diese Tiefe vorgenommen.

Ressourcenklasse 2 - heute verfügbare Ressourcen (100 m bis 100 °C)

Diese Klasse umfasst den tieferen Untergrund, der zur Wärmeproduktion mit bestehender Technologie genutzt werden kann. Ähnlich wie bei den oberflächennahen Ressourcen kommen hier ebenfalls häufig Wärmepumpensysteme zur Anwendung. Die Untergrundnutzung wird ab einer Tiefe von 100 m quantifiziert bis zu einem Tiefenbereich, bei dem eine Untergrundtemperatur von maximal 100 °C vorhanden ist.

Ressourcenklasse 3 - erschließbare Ressourcen mit bestehender Technologie (mehr als 100 C)

Diese Klasse beinhaltet die tiefste Kategorie zur möglichen Nutzung geothermischer Energie: die Stromproduktion.

Da eine Stromproduktion durch z. B. ORC-Systeme aktuell ab etwa 100 °C sinnvoll erfolgen kann, stellt diese Temperatur-/Tiefenstufe eine obere Begrenzung dar. Die untere Begrenzung ist durch den aktuellen Fortschritt in der Bohr- und Stimulationstechnologie gegeben. Für die Potenzialstudie wurde eine maximale Tiefe von 5.000 m angenommen.

In den einzelnen Bearbeitungsmodulen 1, 2 und 3 der Potenzialstudie sind für die drei definierten Ressourcenklassen auf Grundlage unterschiedlicher Vorgehensweisen und Betrachtungsschwerpunkte die vorhandenen und nutzbaren energetischen Potenziale qualitativ und/oder quantitativ abgeschätzt worden. Die **Tabelle 1** gibt einen Überblick:

Tabelle 1: Tabellarischer Überblick über die in den einzelnen Modulen der Potenzialanalyse für das Land Berlin betrachteten Ressourcenklassen.

Ressourcenklasse	Modul 1	Modul 2	Modul 3
1 bis 100 m	Quantitative Schätzung für die Landesfläche	Qualitative Ermittlung für das Land Berlin	Quantitative Ermittlung für drei ausgewählte Modellgebiete im Land Berlin.
2 über 100 m bis 100 °C	Quantitative Schätzung für die Landesfläche	Quantitative Schätzung für die Ressourcenklassen 2 und 3 für die Landesfläche.	-
3 über 100 °C	-	-	-

4.1 Modul 1

Im Zuge der Bearbeitung des Moduls 1 erfolgte eine erste qualitative Einschätzung der geothermischen Ressourcen im oberflächennahen und tieferen Untergrund von Berlin.

4.1.1 Ressourcenklasse 1

In einem ersten Schritt wurde eine quantitative Schätzung des geothermischen Potenzials, des sog. „Heat in Place“, die in Form von Wärme gespeicherte Energie im Untergrund vorgenommen.

Für die Ressourcenklasse 1 ergab sich das in **Tabelle 2** dargestellte Ergebnis.

Tabelle 2: Ergebnis der quantitativen Schätzung des geothermischen Potenzials, des sog. „Heat in Place“ (EHIP, Wärmeinhalts des Untergrundes) für die Ressourcenklasse 1.

Ressourcenklasse	Tiefenbereich	„Heat in Place“ (EHIP)
1	0 bis 100 m	162.143 GWh
Berechnungsgrundlagen: spezifische Wärmekapazität ca. 2,2 MJ/m ³ K, Fläche ca. 890 km ² , nutzbare Temperaturdifferenz $\Delta T = 3$ K (geschätzte Überschusswärme durch anthropogene Temperaturveränderungen im Untergrund).		

Die im Untergrund gespeicherte Wärme kann jedoch nicht vollständig gewonnen bzw. genutzt werden. Um den nutzbaren Wärmeanteil abzuschätzen, kann entweder ein Gewinnungsfaktor², angewendet oder die im Folgenden dargestellte Vorgehensweise gewählt werden.

² Ein Gewinnungsfaktor repräsentiert das Verhältnis zwischen der gewinnbaren Wärmemenge und dem Wärmeinhalt.

Um die potenziell nutzbare Wärmemenge im oberflächennahen Untergrund bis 100 m Tiefe abzuschätzen, ist die Bohrungsdatenbank der Landesgeologie Berlin mit Bohrungen von mehr als 40 m Tiefe und Ergebnisse aus Geothermal Response Tests (GRT) im Land Berlin mit dem Ziel ausgewertet worden, die spezifische Wärmeleitfähigkeit zu ermitteln.

Es wurde eine grobe Vereinfachung der in den Datenbeständen hinterlegten Lithologie vorgenommen. Anschließend wurde den Lithologien Wärmeleitfähigkeiten auf Grundlage der VDI 4640, Bl. 1 /4/ und aus konkreten Wärmeleitfähigkeitsmessungen ausgewählter Sedimente im Land Berlin aus /5/ zugeordnet und die spezifische Wärmeleitfähigkeit für eine 100 m lange Bohrung berechnet.

Im Sinne einer dauerhaften effizienten Nutzung oberflächennaher Erdwärme sind für die spezifische Entzugsleistung in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit konservative Werte in Anlehnung an /6/ verwendet worden. Es wurden Werte für eine Duplexsonde mit 32 mm Durchmesser und 100 m Länge, bei 10 °C mittlerer Bodentemperatur und 1.850 Betriebsstunden im Jahr zugrunde gelegt.

Für eine Erdwärmesonde mit 1.850 Betriebsstunden pro Jahr berechnet sich im Land Berlin in Abhängigkeit von den geologischen Verhältnissen im Untergrund ein möglicher Wärmezug zwischen ca. 5.000 und 7.000 kWh pro Jahr.

Dies entspricht dem Heizenergieverbrauch eines sehr gut gedämmten rd. 100 m² großen Einfamilienhauses mit einem Heizenergiebedarf von ca. 60 kWh pro m² und Jahr.

Für eine erste Prognose des Gesamtpotenzials der oberflächennahen Geothermie wird eine nachhaltige Nutzung zugrunde gelegt. Zusätzlich erfolgt eine Wärmenutzung nur in Wohn-, Misch-, Kern- und Wochenendhausgebieten.

Entsprechend den Regelungen im Land Berlin³, können voneinander unabhängige Erdwärmesondenanlagen theoretisch in einem Abstand von 10 m zueinander platziert werden. Eine Anlage mit einer einzelnen Erdwärmesonde nimmt eine Fläche von 10 x 10 m = 100 m² in Anspruch.

Da auch unter optimistischen Annahmen die maximale Dichte von Erdwärmesonden nicht erreicht werden kann, wurde die maximal mögliche Sonden- / Anlagenanzahl auf geschätzt 50 % reduziert.

Dieser Schritt begründet sich damit, dass Erdwärmesonden z. B. mangels Fläche nicht errichtet oder Gebäude mit Erdwärmesondensystemen nicht versorgt werden können, da diese höheren Temperaturen benötigen als mit Erdwärmesonden-Systemen ökonomisch vertretbar zu erreichen sind.

Die Fläche der Wohn-, Misch-, Kern- und Wochenendhausgebiete beträgt im Land Berlin insgesamt rd. 258 km². Darin sind auch Flächen enthalten, die einem Nutzungsverbot unterliegen, wie z. B. Wasserschutzgebiete und Altlastenflächen (s. a. Kapitel 5.3). Ohne Flächeneinschränkungen berechnet sich die maximal mögliche Erdwärmesondenanzahl auf 2,58 Mio. Stück.

³ Erdwärmennutzung in Berlin; Leitfaden für Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren mit einer Heizleistung bis 30 kW außerhalb von Wasserschutzgebieten. Stand: April 2010.

Mit einer mittleren spezifischen Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds von $2,5 \text{ W/m K}^4$ und einer daraus abgeleiteten mittleren Entzugsleistung von 38 W/m berechnet sich für eine Erdwärmesonde mit 100 m Länge und 1.850 Betriebsstunden eine Jahresentzugsleistung von 7.030 kWh pro Jahr. Unter Berücksichtigung des Reduzierungsfaktors von $0,5$ (s. o.) ergibt sich der jährlich nutzbare Anteil der im erschließbaren Untergrund gespeicherten und regenerierbaren Wärmemenge geschätzt zu ca. 9.052 GWh pro Jahr.

4.1.2 Ressourcenklasse 2 und 3

Im Land Berlin sind nur drei Bohrungen vorhanden, die den tieferen Untergrund zwischen 400 m bis 4.039 m erschließen. Es handelt sich dabei um die Bohrungen

- Berlin 1 im Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf (4.039 m),
- Reichstag 1 im Bezirk Mitte (560 m) und
- Wartenberg im Bezirk Lichtenberg an der nordöstlichen Landesgrenze (1.888 m).

Zusätzlich stehen im Land Brandenburg in der Nähe zur Landesgrenze von Berlin sechs weitere Tiefbohrungen zur Verfügung, die für eine Modellbildung für den Aufbau des tieferen Untergrundes bis in rd. 5.000 m Tiefe herangezogen werden können.

Wegen der geringen Anzahl der geologischen Aufschlüsse sind Aussagen über die Verbreitung und regionale Ausbildung geeigneter Gesteinsschichten für eine geothermische Nutzung durch z. B. hydrothermale Dublettensysteme in der erforderlichen Zuverlässigkeit nicht möglich.

Auf Grundlage der Erfahrungen aus dem geothermisch gut untersuchten östlichen Teil Deutschlands und den dort schon vorhandenen geothermischen Heizzentralen ist das Auftreten nutzungsfähiger Gesteinshorizonte für hydrothermale Dublettensysteme mit Temperaturen von weniger als 100 °C hauptsächlich an die geologischen Horizonte des Buntsandsteins und Abschnitte des Keupers bis Unterkreide gebunden. Untergeordnet können lokal noch im Lias, Dogger und Malm nutzungsfähige Gesteinsschichten auftreten.

Von den benannten nutzungsfähigen Gesteinshorizonten sind im Land Berlin die des Malm und Dogger wahrscheinlich nicht vertreten. Eine Ausnahme bildet dabei der südliche Bereich des Bezirks Neukölln. Hier besteht die Möglichkeit des Auftretens dieser Schichten in einer vermuteten Tiefenlage zwischen rd. 600 m bis 800 m mit Temperaturen zwischen ca. 30 bis 40 °C .

Ein möglicher Nutzungshorizont des Lias (in diesem Fall das Hettang) kann im Bereich der östlichen, südlichen, nordwestlichen und westlichen Landesgrenze auftreten.

Je nach Ausprägung ist eine wirtschaftliche geothermische Nutzung evtl. möglich. Mit einer wahrscheinlich relativ großen Ergiebigkeit und einer vermutlichen Thermalwassertemperatur zwischen ca. 30 °C und 45 °C ist eine

⁴ Hinweis: Dies entspricht dem aufgerundeten Mittelwert aus durchgeführten Geothermal Response Tests (GRT) im Land Berlin.

geothermische Energiegewinnung z. B. über eine Wärmepumpenheizzentrale möglich.

Die wahrscheinlich nutzungsfähigen Gesteinshorizonte des Keupers und des Buntsandsteins sind in unterschiedlichen Tiefenlagen vermutlich im gesamten Land Berlin verbreitet.

Ausgehend von einer Hochlage im Bereich der Salzkissenaufwölbung am Postfenn im Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf treten die Schichten des Keupers in Richtung der Stadtgrenzen voraussichtlich in einer Tiefenlage zwischen rd. 150 m und 1.200 m und die des Buntsandsteins in einer Tiefenlage zwischen rd. 750 m und 2.200 m mit Speichertemperaturen vermutlich zwischen ca. 50 °C und 70 °C auf.

In der Tendenz werden die größten Tiefenlagen der potenziell vorhandenen Speicherhorizonte im Nordwesten (Spandau, Frohnau) und Süden (Neukölln) prognostiziert.

In der Bohrung Wartenberg im Bezirk Lichtenberg wurden die beiden Nutzungshorizonte auf deren Eignung bzw. Wirtschaftlichkeit untersucht. Es wurde festgestellt, dass für die näher untersuchten Buntsandsteine (insbesondere der Detfurth-Sandstein) eine Wirtschaftlichkeit aufgrund der niedrigen Produktivitätsrate nicht gegeben ist. Die vorgesehene geothermische Nutzung am Standort Wartenberg wurde daher nicht realisiert.

Trotz dieses Befundes ist für den Buntsandstein jedoch nicht auszuschließen, dass lokal relativ gute Speichereigenschaften z. B. im Bereich von Störungen vorhanden sind, wie das Beispiel des Berliner Erdgasspeichers am Postfenn zeigt.

Ab einer Tiefe von mehr als ca. 3.200 m sind Untergrundtemperaturen von mehr als 100 °C möglich. In diesem Tiefenbereich sind im Land Berlin Gesteine des Zechsteins und Rotliegenden (i. d. R. Vulkanite) verbreitet, die generell nur gering permeabel und daher nicht speicherfähig sind. Inwieweit diese Gesteine für eine Stimulation bzw. Schaffung künstlicher, gerichteter Fließwege geeignet sind und die Nutzung hochthermaler Schichtwässer mit Speichertemperaturen von mehr als 100 °C ermöglichen, lässt sich auf Grundlage der verfügbaren Daten nicht bewerten.

Eine Ausnahme können jedoch die lokal verbreiteten Konglomerate des Oberrotliegenden darstellen, für die ein hydrothermales Potenzial vermutet wird. Über die Verbreitung dieser Konglomerate im Land Berlin liegen derzeit keine Kenntnisse vor.

Auf Grundlage von Literaturangaben, Vereinfachungen und unter der Voraussetzung, dass die hydrothermal relevanten Speichergesteine eine wirtschaftliche geothermische Nutzung zulassen, wurde ein einfaches konzeptionelles Untergrundmodell erstellt und eine erste quantitative Schätzung der im Untergrund gespeicherten Wärme („Heat in Place“, EHIP) vorgenommen. Für die definierten Ressourcenklassen 2 und 3 ergaben sich die in **Tabelle 3** dargestellten Ergebnisse.

Tabelle 3: Ergebnis der quantitativen Schätzung des geothermischen Potenzials, des sog. „Heat in Place“ (EHIP, Wärmeinhalt des Untergrundes) für die Ressourcenklassen 2 und 3.

Ressourcenklasse	Tiefenbereich	„Heat in Place“ (EHIP)
2	100 bis ca. 3.200 m	rd. 147.500.000 GWh ¹⁾
3	3.200 m bis ca. 5.000 m	mehr als 30.000.000 GWh ¹⁾
Hinweis: 1) EHIP _{ges.} , d. h. ohne Einschränkung auf bestimmte Nutzungshorizonte.		

Allgemein kann die im Untergrund gespeicherte Wärme nicht vollständig gewonnen bzw. genutzt werden. Über einen Gewinnungsfaktor („Recovery Factor“), der das Verhältnis zwischen der gewinnbaren Wärmemenge und dem Wärmeinhalt repräsentiert und von der Art der Nutzung und vom Erschließungskonzept (Fördertechnik) abhängt, kann die nutzbare Wärmemenge abgeschätzt werden. Für eine möglichst nachhaltige Nutzung, d. h. das Reservoir soll über einen Zeitraum von 30 Jahren nicht abgekühlt werden, werden i. d. R. Gewinnungsfaktoren zwischen 1,5 % und 5 % in Ansatz gebracht.

Zusätzlich ist zu beachten, dass im Land Berlin in der Ressourcenklasse 2 je nach Ausprägung wahrscheinlich nur die beiden nutzungsfähigen Buntsandstein-Gesteinshorizonte des Hettangs und des Detfurths eine wirtschaftliche geothermische Nutzung evtl. zulassen.

Während der Detfurth-Sandstein wahrscheinlich im gesamten Land Berlin verbreitet ist, kommt der Nutzhorizont des Hettangs vermutlich nur in den Randbereichen der östlichen und nordwestlichen Stadtbezirke sowie im Bereich der südlichen und westlichen Stadtgrenze vor. Die **Tabelle 4** zeigt die geschätzten nutzbaren Wärmeanteile in der Ressourcenklasse 2.

Tabelle 4: Geschätzte nutzbare Wärmeanteile in der Ressourcenklasse 2.

Ressourcenklasse 2		
Schicht	Detfurth-Sandstein	Hettang-Sandstein
Fläche	890.896.219 m ²	445.448.110 m ²
Mittlere Mächtigkeit	35 m	30 m
Nutzbare Temperatur-differenz	ca. 45 K	ca. 25 K
spezif. Wärmekapazität	2.184.000 J/m ³ K	2.184.000 J/m ³ K
Gespeicherte Wärme	rd. 851.000 GWh	rd. 203.000 GWh
Gewinnungsfaktor	1,5 %	1,5 %
Nutzbarer Wärmeanteil	rd. 12.800 GWh	rd. 3.000 GWh

Über das Vorhandensein möglicher Nutzungshorizonte bzw. Heißwasseraquifere, die auch für eine Stromgewinnung genutzt werden könnten, d. h. mit einer Temperatur von mehr als 100 °C (im Land Berlin vermutlich ab einer Tiefe von ca. 3.200 m), liegt keine belastbare Datenlage vor. Daher wurde für die Ressourcenklasse 3 auf eine Schätzung des nutzbaren Potenzials verzichtet.

4.2 Modul 2

4.2.1 Ressourcenklasse 1

Um das verfügbare geothermische Potenzial der Ressourcenklasse 1 zu ermitteln, ist im Modul 2 /2/ ein geologisches Modell bis zur Oberkante des Rupeltons erstellt worden.

Insgesamt wurden für das dreidimensionale Untergrundmodell 9.047 Bohrungen mit einer Endteufe von mehr als 39 m aus der für das Land Berlin vorhandenen Bohrungsdatenbank ausgewertet. Zusätzlich wurden bei der Auswertung vorhandene geologische Schnitte der Landesgeologie, die auf Grundlage einer Vielzahl von Aufschlüssen stratifiziert wurden, berücksichtigt.

Neben einer umfangreichen Konsistenz- und Plausibilitätsprüfung der Eingangsdaten und den daraus abgeleiteten Zwischenergebnissen sind für die räumliche Interpolation von Verbreitungsflächen der stratigrafischen Einheiten und einer Abschätzung der jeweiligen Mächtigkeiten aus den vorhandenen Punktinformationen der Bohrungen auch geostatistische Verfahren wie Variogrammanalysen und Kriging-Interpolation angewendet worden.

Im Ergebnis dieses iterativen Prozesses der Modellerstellung wurde ein in sich konsistentes 3D-Modell bis zur Oberkante Rupelton erstellt, welches die stratigrafischen Haupteinheiten im dreidimensionalen Raum repräsentiert. Die **Abbildung 1** zeigt einen Ausschnitt aus dem 3D-Modell.

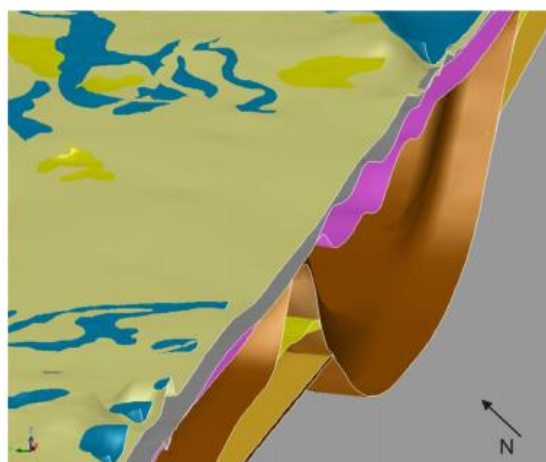


Abbildung 1: Abbildung aus dem Modul 2 /2/ der Unterkanten in stratigrafischer Reihenfolge vom Jüngsten zum Ältesten: Holozän (blau), Weichsel-Spätglazial bis Holozän (gelb, Dünen), Weichsel (hellgrün), Saale (grau), Holstein (violett), Elster (braun), Miozän (gelb), Oligozän Feinsand (orange) und Oligozän Ton/Schluff (bräunlich).

Für die Berechnung der geothermischen Potenziale sind neben den dreidimensionalen geologischen Körpern zusätzlich die Wassersättigung des Gebirges (Grundwassersituation) und die Temperaturverteilung des Untergrundes relevant.

Auch hier wurde auf schon vorhandene Datenbestände zurückgegriffen. Dazu gehören Grundwassergleichenpläne aus dem Jahr 2009 für den Hauptgrundwasserleiter und den Panketalgrundwasserleiter, das digitale Geländemodell aus dem Jahr 2010 mit den Geländehöhen im Land Berlin und Daten zur Temperaturverteilung im Untergrund.

Ein weiterer wichtiger Schritt der Bearbeitung war eine Zuordnung der petrografischen Zusammensetzung zu den stratigrafischen Einheiten des 3D-Modells. Zu den 9.047 Bohrungen sind 40.854 unterschiedliche Petrografien vorhanden. Hier musste eine Zusammenfassung / Vereinfachung und Klassenbildung vorgenommen werden. Zum Beispiel wurden die Petrografiebeschreibungen wie Kies, Kies sandig, Kies steinig, Steine zur Klasse Kies zusammengefasst.

Letztendlich wurden die folgenden 11 Gesteinsklassen unterschieden:

Auffüllung/anthropogen, Boden, Mudden, Torf/Torfmudden, Sand allgemein, Kies, Geschiebelehm, Geschiebemergel, Ton/Schluff, Braunkohle und Kalkstein.

Diesen Gesteinsklassen sind entsprechende Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten aus /4/ und /5/ zugeordnet worden.

Auf dieser Grundlage wurde über eine Erdwärmesondenmodellierung mittels des Programms Earth Energy Designer in der Version 3.16 für jede Gesteinsklasse spezifische Entzugsleistungen ermittelt.

Für zwei Szenarien wurde jeweils die maximale Heizleistung und weiterführend die spezifische Entzugsleistung unter identischen Randbedingungen für den Lastfall eines Einfamilienhauses für jede einzelne Gesteinsklasse berechnet.

Im ersten Szenarium ist eine Entzugsleistung für die reine Heizarbeit ohne Warmwasserbereitung mit 1.800 Volllaststunden der Wärmepumpe und im zweiten Szenarium zusätzlich eine Warmwasserbereitung mit insgesamt 2.400 Volllaststunden berücksichtigt worden.

Für die vorhandenen realen Bohrungen und zusätzlich für virtuelle Bohrungen, die auf Grundlage des erstellten geologischen 3D-Untergrundmodells bzw. der zugrunde liegenden Schnitte in Gebieten mit wenigen Aufschlüssen abgeleitet worden sind, wurde die spezifische Wärmeleitfähigkeit sowie darauf aufbauend die spezifische Entzugsleistung für 1.800 und 2.400 Betriebsstunden jeweils für die Tiefenabschnitte 0 m bis 40 m, 0 m bis 60 m, 0 m bis 80 m und 0 m bis 100 m Tiefe ermittelt.

Die berechneten Werte für die spezifische Wärmeleitfähigkeit und die spezifische Entzugsleistung wurden im Anschluss auf die Fläche des Land Berlin interpoliert und im Umweltatlas Berlin Themenbereich 02.18 Geothermisches Potenzial - spezifische Wärmeleitfähigkeit und spezifische Entzugsleistung (Ausgabe 2012) dargestellt⁵.

⁵ Digitaler Umweltatlas von Berlin:
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i218.htm>

4.2.2 Ressourcenklasse 2 und 3

Für den tieferen Untergrund im Land Berlin wurde im Modul 2 der Potenzialstudie ein geologisches Tiefenmodell mit den Verbreitungsflächen der einzelnen geologischen Einheiten erstellt. Zur Konstruktion von deren räumlicher Lage im Untergrund war eine Kombination verschiedener Informationsquellen erforderlich, da keine Quelle jeweils alle geologischen Einheiten abbildet.

Grundlage für die Auswertung waren im Wesentlichen folgende Quellen:

- Atlas zur Geologie von Brandenburg, Maßstab 1:1.000.000.
- Reflexionsseismik des VEB Kombinat Geophysik Leipzig, Maßstab 1:100.000, Blatt Berlin N-33-123/124
- Reflexionsseismik zur Erkundung des Untergrundes des Gasspeichers Berlin-Spandau

Für das Modell des tieferen Untergrundes von Berlin wurde aus den oben beschriebenen Informationen und Daten ein Modell, ausgehend von der Basis des Rotliegenden (Ebene 1) in einer Tiefe zwischen ca. 4.700 m bis ca. 3.700 m unter der Geländeoberkante bis zur Basis des Tertiärs (Ebene 9) zwischen ca. 1.400 m bis ca. 150 m unter der Geländeoberkante, erstellt (**Abbildung 2**).

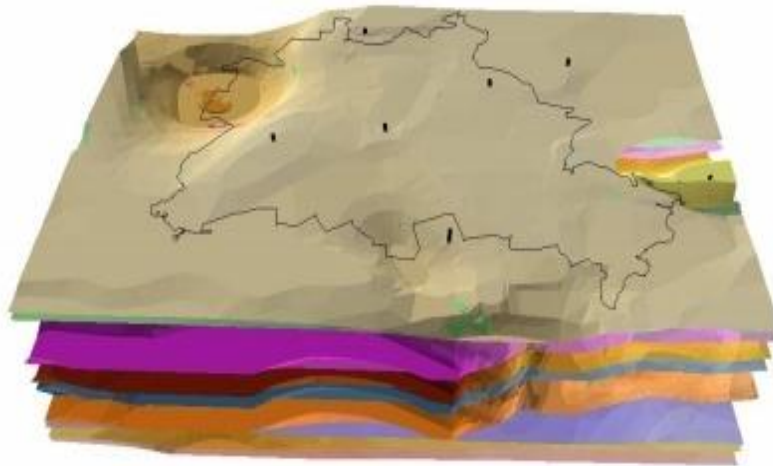


Abbildung 2: Tiefengeologie Berlin – Darstellung der einzelnen Ebenen. Das Gesamtmodell ist 4-fach überhöht. Dargestellt ist jeweils die Basis der einzelnen Horizonte /2/. Abfolge der Ebene von unten nach oben:

- Ebene 1 – Basis Rotliegend
- Ebene 2 – Basis sedimentär Rotliegend
- Ebene 3 – Basis Zechstein
- Ebene 4 – Basis Buntsandstein
- Ebene 5 – Basis Muschelkalk
- Ebene 6 – Basis Keuper
- Ebene 7 – Basis Jura
- Ebene 8 – Basis Kreide
- Ebene 9 – Basis Tertiär

Neben dem geologischen Untergrundmodell war für die Prognose ein geothermisches Tiefenmodell mit Angaben zur Verteilung der Temperatur und der Wärmestromdichten und den mittleren Wärmeleitfähigkeiten für die einzelnen stratigrafischen Einheiten erforderlich.

In /7/ sind Temperaturprognosen für 1.045 flächenhaft verteilte Stützstellen bis zur Tiefe des Rupeltons, d. h. maximal 400 m Tiefe berechnet worden. Zusätzlich wurde eine flächenhafte Abschätzung der Wärmestromdichten als Ergebnis der Anpassung berechneter an gemessene Temperaturprofile vorgenommen. Die Zuweisung der mittleren Wärmeleitfähigkeiten für die einzelnen stratigrafischen Einheiten erfolgte auf Grundlage von /4/ und /5/.

Im Untergrund von Berlin sind nur

- die Sandsteine des Rotliegenden (Teufenbereiche zwischen 3.200 und 3.700 Metern) und
- die Sandsteine des Mittleren Buntsandsteins

für eine geothermische Wärmegewinnung relevant. Daher wurden nur für diese beiden Horizonte die wahrscheinlichen Temperaturen prognostiziert.

Ausgehend von der prognostizierten Temperatur an der Oberkante des Rupeltons ist auf Grundlage des geothermischen Tiefenmodells die Temperatur der Oberkante des Mittleren Buntsandsteins und der Sandsteine des Rotliegenden berechnet worden.

Im Modul 2 erfolgte die Darstellung und Quantifizierung der vorhandenen geothermischen Ressource für die Ressourcenklassen 2 und 3 horizontbezogen und vom Standpunkt der unterschiedlichen technischen Möglichkeiten zur Nutzung des im tiefen geologischen Untergrund gespeicherten geothermischen Potenzials.

Da die Übergänge zwischen den Ressourcenklassen 2 und 3 bei einer horizontbezogenen Betrachtung der Nutzungsmöglichkeiten hydrothermalen Systeme im Temperaturbereich fließend sein können, ist im Modul 2 auf eine getrennte Betrachtung der einzelnen Ressourcenklassen verzichtet worden.

Folgende drei Systemtypen wurden betrachtet:

- a) Tiefe Erdwärmesonden (geschlossene Systeme),
- b) Hydrothermale Dublettensysteme (offene Systeme) und
- c) Petrothermale Systeme.

zu a) Tiefe Erdwärmesonden (geschlossene Systeme)

Vorteile:

- Keine speziellen Anforderungen an die Geologie. Standorte mit hohen geothermischen Gradienten sind allerdings zu bevorzugen.
- Geschlossenes System, die Zusammensetzung der Porenwässer spielt keine Rolle.

Nachteile:

- Die abgreifbare thermische Leistung ist begrenzt. Diese liegt im Dauerbetrieb auch bei Teufen bis 2.000 m lediglich im Bereich von 100 kW – 200 kW.
- Hohe Investitionskosten für tiefe Bohrungen mit möglichst großem Durchmesser.
- Die Rücklauftemperatur liegt bei entsprechender Leistung der Sonde kaum über 50 °C. Für Heizwasserkreisläufe ist in der Regel der Einsatz einer Wärmepumpe erforderlich.

Potenzial:

Um eine mögliche gegenseitige Beeinflussung zu minimieren, wurde ein Sondenabstand von ca. 250 m zugrunde gelegt. Damit ließen sich im Land Berlin bei nahezu gleichmäßiger Anordnung ca. 4.000 bis 5.000 SONDENSYSTEME installieren. Dies entspräche einer thermisch nutzbaren Dauerleistung von ca. 500 MW bis maximal 1.000 MW.

Unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit wurde im Modul 2 diese Zahl als nicht realistisch eingestuft, vielmehr muss an dieser Stelle von wenigen Einzelprojekten ausgegangen werden, die nur unwesentlich zur Energiebilanz beitragen.

Aufgrund der Begrenzung der Leistungsfähigkeit ist dieses System nur für die Ressourcenklasse 2 sinnvoll.

zu b) Hydrothermale Dublettensysteme (offenes Systeme)

Vorteile:

- Höhere thermische Leistungen im Vergleich zu tiefen Erdwärmesonden.

Nachteile:

- Zwei Bohrungen (eine Förderbohrung und eine Reinjektionsbohrung) sind erforderlich.
- Es werden für einen wirtschaftlichen Betrieb spezielle Anforderungen an die Geologie gestellt. Dazu gehören u. a. gute hydraulische Durchlässigkeiten der Reservoirgesteine und deren effektiver Mächtigkeiten.

Potenzial:

In Hinblick auf die beiden im Land Berlin relevanten Schichten:

- die Sandsteine des Rotliegenden (Teufenbereiche zwischen 3.200 m und 3.700 m) und
- die Sandsteine des Mittleren Buntsandsteins

sind Annahmen u. a. zu den hydraulischen Durchlässigkeiten und in Hinblick auf die thermische Leistung (bis 600 kW für die Sandsteine des Rotliegenden und bis 500 kW für die Sandsteine des Mittleren Buntsandsteins) getroffen worden.

Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die nutzbaren thermischen Leistungen ein bis zwei Größenordnungen unter den aus anderen Gegenden Deutschlands (Norddeutsches Becken, Bayerischer Malmkarst) bekannten Werten liegen und eine hydrothermale Stromerzeugung mit dieser Technologie als nicht wirtschaftlich einzustufen ist.

Die abgeschätzten Einflussbereiche für diese Anlagen wurden für beide Nutzhorizonte in der Größenordnung von ca. 6 km² geschätzt.

Da ein Erlaubnisfeld jedoch alle Tiefenbereiche einschließt, liegt die tatsächlich maximal denkbare Anzahl ebenfalls bei 150 Anlagen.

Als Voraussetzungen für eine hydrothermale Dublette wird als Bohrplatz ein Grundstück mit einer Größe von ca. 1 ha benötigt. Da beide Grundwasserleiter flächendeckend verbreitet sind, ist eine Nutzbarkeit grundsätzlich im gesamten Stadtgebiet gegeben.

Im Modul 2 wurde darauf hingewiesen, dass aufgrund der thermischen Ergiebigkeit, die von der Schüttung und der Temperatur abhängig ist, die Wirtschaftlichkeit als sehr unsicher einzustufen ist.

Grundsätzlich gilt, je höher die Temperatur, desto eher sind Projekte wirtschaftlich darstellbar. Im Land Berlin sind deutliche Unterschiede in der Temperaturverteilung im mittleren Buntsandstein und im Rotliegend Sandstein aufgrund deren Tiefenlage zu beobachten.

zu c) Petrothermale Systeme

Vorteile:

- Durch technische Maßnahmen können Wasserwegsamkeiten geschaffen werden. Ausreichend durchlässige Gesteine müssen deshalb nicht vorhanden sein.
- Petrothermale Systeme weisen das größte energetische Potenzial auf. Es ist im Raum Berlin um etwa den Faktor 100 größer als das der hydrothermalen Systeme.

Nachteile:

- Es müssen Gesteine vorhanden sein, die es technisch ermöglichen hydraulisch wirksame Risse zu erzeugen.

Potenzial:

Eine genaue Quantifizierung ist kaum möglich, da auch tiefer gelegene Horizonte genutzt werden könnten. Allerdings ist die dafür notwendige Technologie noch nicht soweit ausgereift, dass dieses Potenzial auch technisch nutzbar ist.

Als Voraussetzung für eine Projektumsetzung wird eine Fläche in der Größenordnung von ca. 2 ha benötigt. Da mit der Erzeugung hydraulisch wirksamer Risse der eigentliche Wärmetauscher im Untergrund erst realisiert wird, ist der beeinflusste Bereich von der konkreten Planung abhängig. Eine pauschale Abschätzung zur Größe der Erlaubnisfelder ist deshalb kaum möglich.

Insgesamt muss für das Land Berlin aufgrund seiner infrastrukturellen Gegebenheiten eingeschätzt werden, dass die oben genannte Anzahl von Standorten eine theoretische Grenze darstellt. Aus praktischer Sicht sind

die für die Projektumsetzung nötigen Flächengrößen nur in Ausnahmefällen vorhanden.

4.3 Modul 3

4.3.1 Ressourcenklasse 1

Die Aufgabenstellung des Moduls 3 umfasste die modellhafte Untersuchung des energetischen Potenzials für die Nutzung oberflächennaher Erdwärme durch Erdwärmesonden (Ressourcenklasse 1) für unterschiedliche Besiedlungs- und Nutzungssituationen im Land Berlin unter Berücksichtigung der jeweils lokalen thermischen Regenerationsfähigkeit des Untergrundes.

Diese Untersuchungen erstreckten sich auf drei repräsentative Gebiete mit unterschiedlicher Stadtstruktur und unterschiedlichem Untergrunderaufbau:

- (1) Innenstadtbereich mit dichter Wohnbebauung und anthropogenen Wärmeeinträgen durch Heizungskeller, Gebäudekühlung, U-Bahn usw.; hohe Bodenversiegelung (> 60 %) im Bereich des Modellgebietes Urstromtal.
- (2) Wohngebiet mit aufgelockerter Wohnbebauung und Grün- und Freiflächen; geringer bis mittlerer Versiegelungsgrad (30 % bis 50 %) im Bereich der Teltow-Hochfläche.
- (3) Wohngebiet mit aufgelockerter Wohnbebauung und Grün- und Freiflächen; geringer Versiegelungsgrad (< 30 %) am Stadtrand im Bereich der Barnim-Hochfläche.

Die ca. 4 km² großen Modellgebiete wurden durch die Senatsverwaltung festgelegt.

Die **Abbildung 3** zeigt die festgelegten Gebiete im Überblick.

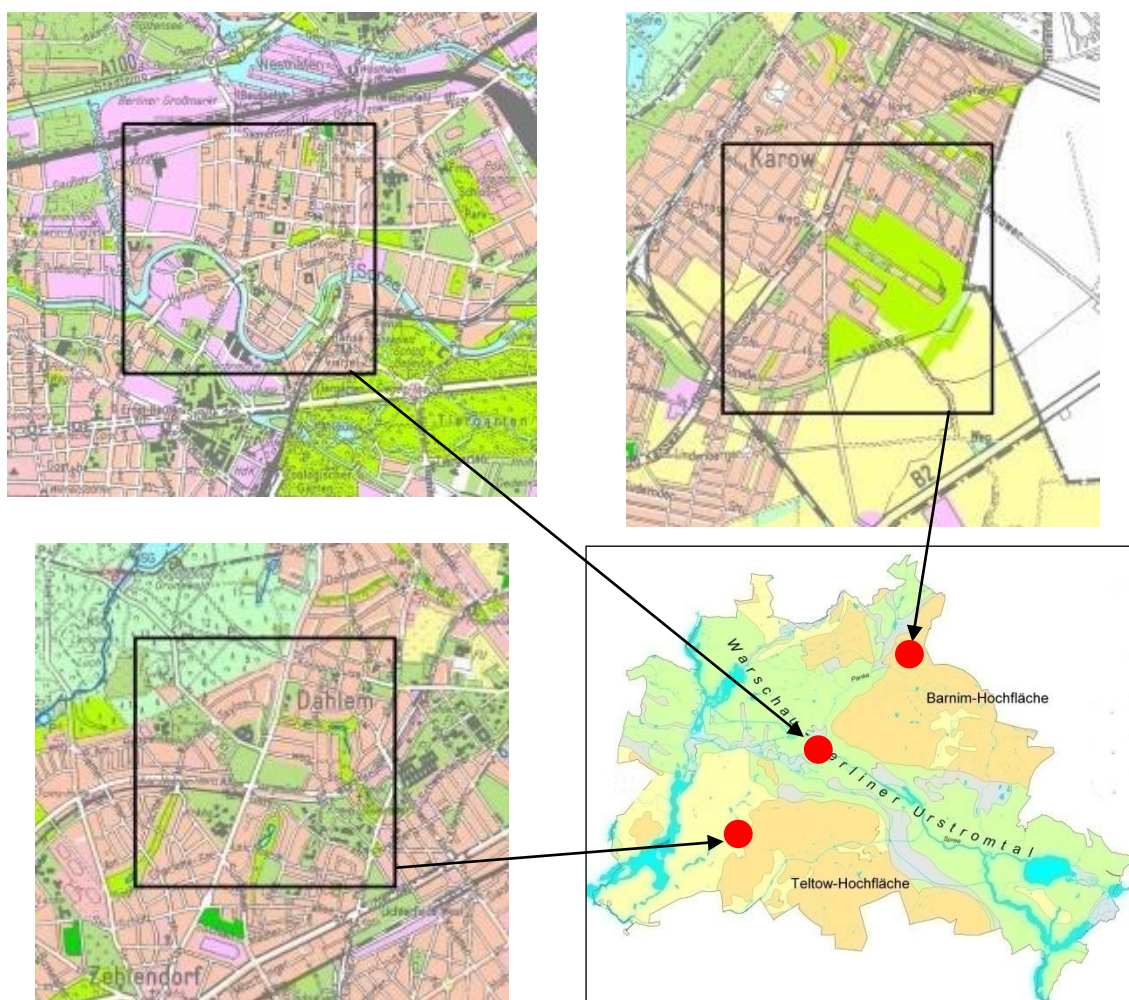


Abbildung 3: Lage der 3 Gebiete innerhalb des Stadtgebietes

Das Modellgebiet im Urstromtal (Innenstadtbereich mit dichter Wohnbebauung) liegt überwiegend im Bezirk Mitte, Ortsteil Moabit. Nur im Südwesten reicht es ein wenig in den Ortsteil Charlottenburg hinein.

Auf der Teltow-Hochfläche (Wohngebiet mit aufgelockerter Wohnbebauung und Grün- und Freiflächen; Versiegelungsgrad (30 % bis 50 %)) wurde ein Gebiet ausgewählt, das im Bezirk Steglitz-Zehlendorf überwiegend im Ortsteil Dahlem und nur ein wenig (im Südwesten) im Ortsteil Zehlendorf liegt.

Das Modellgebiet auf der Barnim-Hochfläche (Wohngebiet mit aufgelockerter Wohnbebauung und Grün- und Freiflächen; Versiegelungsgrad < 30 %) liegt im Nordosten von Berlin und reicht an seinem östlichen Rand an die Landesgrenze Brandenburg. Es liegt im Bezirk Pankow in den Ortsteilen Karow, Stadtrandsiedlung Malchow und Blankenburg.

Für jedes Modellgebiet sind geologische / hydrogeologische Strukturmodelle des Untergrundes aufgebaut worden, die die Grundlage für die Strömungs- und Wärmetransportmodelle bilden. Ein wesentlicher Schritt bei der Datenbearbeitung war die geostatistische Regionalisierung der Daten. Dabei wurde aus den unregelmäßigen „punktbezogenen“ Daten ein regelmäßiges Gitter mit definierten Anfangs- und Endpunkten sowie Abständen geschaffen, zu denen

dann jeweils die gewünschten Informationen wie z. B. die hydraulische Durchlässigkeit oder Wärmeleitfähigkeit für jeden Gitterpunkt zur Verfügung stehen.

Für die **Strömungsmodellierung** wurde der Simulator Visual Modflow in der Version 5 (WHI 2005) verwendet. Bei diesem Simulator bestand die Anforderung, dass im Modell eine Gliederung der Grundwasserleiter nicht ausschließlich hydrostratigrafisch noch lithologisch bezogen erfolgt, sondern über das gesamte Modellgebiet möglichst aushaltende und gleichmächtige Modellgrundwasserleiter vorhanden sein sollten (**Abbildung 4**).

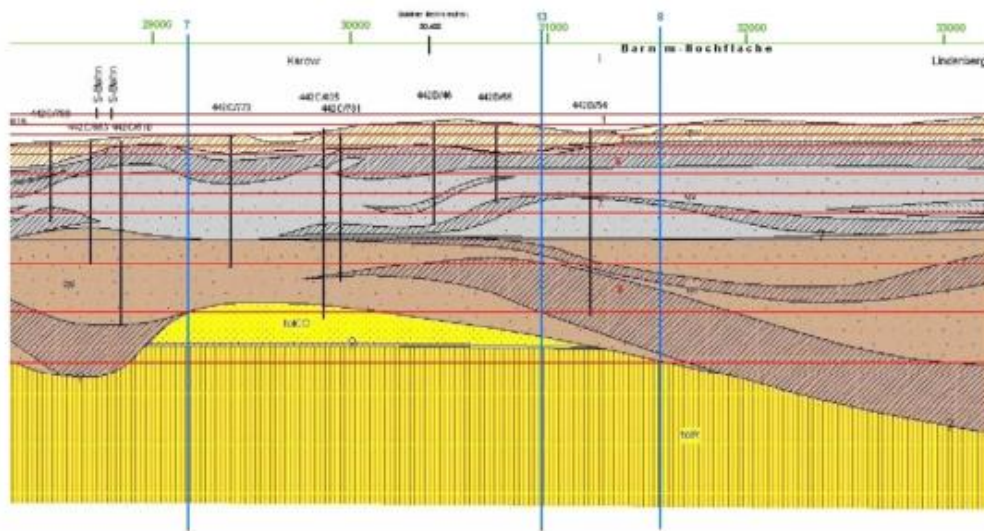


Abbildung 4: Beispiel für die Schematisierung der hydrogeologischen Lagerungsverhältnisse durch Bildung horizontaler Modellgrundwasserleiter.

Alle drei Modelle erfassen in der Vertikalen die Abfolge der quartären und tertiären Grundwasserleiter und –hemmer bis zum Rupelton.

Die jeweiligen Strömungsmodelle besitzen eine horizontale Auflösung 25 m x 25 m. Die vertikale Unterteilung ist abhängig von der jeweiligen Schichtmächtigkeit der einzelnen Modellgrundwasserleiter. Für die Modellgebiete Barnim und Urstromtal wurde eine Unterteilung in jeweils elf und für das Modellgebiet Teltow in zwölf horizontale Modellgrundwasserleiter vorgenommen.

Die Ränder von den drei ausgewählten Standorten Barnim-Hochfläche, Urstromtal, Teltow-Hochfläche wurden entsprechend der Grundwassergleichen geeignet gewählt. Als Randbedingung am oberen Modellrand ging die Grundwasserneubildung ein. An den vertikalen Modellrändern wurden Festpotenziale (Randbedingung 1. Art) auf Grundlage von Messungen aus dem Jahr 2006 gesetzt.

Die Strömungsmodelle wurden anhand von Kontrollmessstellen, Grundwassergleichenplänen und Wasserbilanzen kalibriert. Kalibrierparameter waren die Durchlässigkeitsbeiwerte und die Grundwasserneubildung. Zusätzlich sind auch Oberflächengewässer und Entnahmen aus dem Grundwasser berücksichtigt worden.

Die numerischen Ergebnisse wurden in Grundwassergleichenplänen visualisiert und den gemessenen Grundwassergleichen gegenübergestellt. Im Ergebnis zeigte sich für die drei Modellgebiete jeweils eine gute Übereinstimmung der berechneten Grundwasserstände mit den vorliegenden Messdaten.

Aufbauend auf den Strömungsmodellen wurde die **Wärmetransportmodellierung** mit dem Aufsatz MT3DMS, der speziell für die gekoppelte Wärme- und Stofftransportmodellierung für das Programmsystem Visual Modflow entwickelt worden ist, durchgeführt.

Mit den zusätzlichen Wärmetransportmodellen sollten beispielhaft Aussagen zu den Auswirkungen einzelner Erdwärme-Sondenanlagen bei unterschiedlichen Anordnungen im Grundwasserströmungsfeld getroffen werden. Da die ursprünglich horizontalen Modellgitterweiten des Strömungsmodells mit 25 m x 25 m zu grob waren, wurde für die Bereiche im numerischen Modell in denen Erdwärmesonden platziert worden sind, eine Reduzierung der Modellgitterweite auf mindestens 5 m x 5 m, teilweise auch auf 1 m x 1 m vorgenommen.

Die Wärmetransportmodellierung ist von mehreren Parametern und Randbedingungen abhängig. Für Parameter, die wegen fehlender Informationen z. T. nur unzureichend erfasst bzw. im Modell nicht umgesetzt werden konnten, wurden Vereinfachungen und Umrechnungen vorgenommen oder auf Annahmen zurückgegriffen.

Andere Parameter, die den Wärmehaushalt im Untergrund maßgeblich beeinflussen, wie z. B.

- Leitungen der Fernwärmeversorgung, Versorgungsgebiete,
- Tiefbebauungen/Tiefgaragen mit flächenhafter Wirkung,
- größere Abwasserleitungen (ab DN 150 mm),
- U-Bahn-Tunnel

wurden für die Modellgebiete real erfasst.

Ergänzend sind Temperaturmessungen an ausgewählten Grundwassermessstellen, Oberflächengewässern und unterirdischen Objekten wie U-Bahntunnel, Kanalisationen und Tiefgeschossen in Gebäuden durchgeführt worden, um die thermischen Bedingungen am oberen Modellrand zu ermitteln.

Für die jeweiligen Modellränder wurden Temperaturen als Randbedingungen vorgegeben.

So sind für den oberen Modellrand z. B. Berechnungen zum Wärmeeintrag aus der ungesättigten in die gesättigte Zone durch den Temperaturjahresgang über Wärmeleitung und zur Temperatur der Grundwasserneubildung als konvektiver Wärmetransport durchgeführt und deren Ergebnisse in das Modell als Randbedingungen übernommen worden.

Die jeweiligen numerischen Wärmetransportmodelle wurden auf Grundlage von gemessenen Untergrundtemperaturen und daraus erzeugten Isolinienplänen für einzelne Modellschichten kalibriert.

Als Ergebnis wurde festgestellt, dass in allen drei Modellgebieten die berechneten Temperaturen geringer waren als die gemessenen. Innerhalb des

Aussagegebietes betragen die maximalen Abweichungen ca. 0,4 K. Die Abweichungen wurden als tolerabel für die weiteren Berechnungen eingestuft.

Eingeschränkt auf die kleineren „Aussagegebiete“ der jeweiligen Modellareale wurde eine Bilanzierung des für Heizzwecke nutzbaren Wärmepotenzials durchgeführt. Es ist allgemein davon ausgegangen worden, dass lediglich ein nutzbares Potenzial zur Verfügung steht, das sich aus dem terrestrischen Wärmestrom von „unten“, dem lateralen, konvektiven Wärmestrom durch das fließende Grundwasser und dem Wärmeeintrag von „oben“ aus der ungesättigten Bodenzone sowie den anthropogenen Wärmeeinträgen zusammensetzt.

Als Wärmeströme wurden berücksichtigt:

- | | |
|--------------------|--|
| Von der Oberfläche | - die Wärmequelle „ungesättigte Bodenzone“ (hier: Zustrom und Temperatur aus der Grundwasserneubildung (konvektiv)), |
| | - der konduktive Wärmeeintrag von der Oberfläche, (konduktiver Wärmeeintrag durch anthropogene Quellen, wie Tiefbebauungen, Fernwärmekanäle usw.). |
| Aus dem Untergrund | - die terrestrische Wärmestromdichte
Modellgebiet Barnim-Hochfläche = 80 mW/m ² ,
Modellgebiet Urstromtal = 90 mW/m ² ,
Modellgebiet Teltow-Hochfläche = 75 mW/m ² . |
| Von den Seiten | - der konvektive Wärmezustrom durch das seitlich zuströmende Grundwasser. |

Für die einzelnen Aussagegebiete kam die Wärmebilanzierung des geothermisch nutzbaren Potenzials zu den in der **Tabelle 5** dargestellten Ergebnissen.

Tabelle 5: Ergebnis der Wärmebilanz des geothermisch nutzbaren Potenzials für die drei Modellgebiete.

Bilanzgröße	Wärmeeintrag		
	Modellgebiet Barnim-Hochfläche	Modellgebiet Teltow-Hochfläche	Modellgebiet Urstromtal
Zustrom aus Grundwasserneubildung (konvektiv)	461 kW	709 kW	579 kW
Eintrag von der Oberfläche (konduktiv)	1.025 kW ⁴⁾	544 kW	672 kW
Geothermische Tiefenstufe	320 kW	300 kW	360 kW
Eintrag Tiefbauwerke	0 kW	0 kW	3.240 kW
Zuströmendes Grundwasser	0 kW ¹⁾	31 kW	0 kW ²⁾
Abkühlung auf unbeeinflusstes Niveau ³⁾	0 kW	183 kW (über einen Zeitraum von 50 Jahren)	493 kW
Summe	1.806 kW	1.767 kW	5.344 kW
Hinweise: 1) Das zufließende Grundwasser besitzt eine Temperatur, die dem natürlichen, unbeeinflussten Niveau entspricht. Eine Nutzung dieses Potenzials z. B. durch eine gezielte Abkühlung ist nicht möglich. 2) Aufgrund eines sehr geringen Grundwasserzuflusses wurde im Modellgebiet Urstromtal kein zusätzlicher Wärmeeintrag über die Modellgebietsgrenzen berücksichtigt. 3) Durch die anthropogene Beeinflussung kann sich im Untergrund ein Wärmereservoir aufgebaut haben, das genutzt werden kann. Für die Quantifizierung wurde ein Zeitraum der Abkühlung von 50 Jahren zugrunde gelegt. 4) Dieser Wert ist nicht repräsentativ. Er gilt nur für das Jahr 2011 und für die im Modellgebiet konkret am Messstandort vorherrschenden hydrogeologischen/meteorologischen Verhältnisse.			

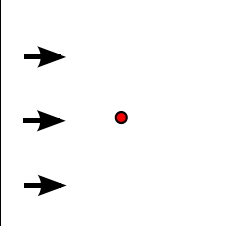
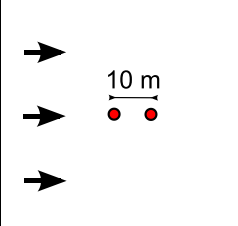
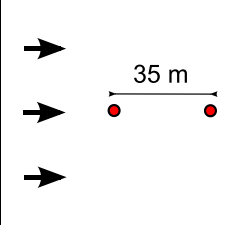
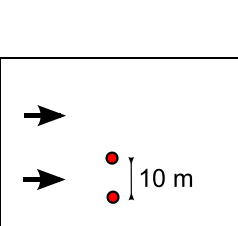
Entsprechend der Aufgabenstellung sollten auf Grundlage der einzelnen gekoppelten Strömungs- und Wärmetransportmodelle beispielhaft Aussagen zu den Auswirkungen einzelner Erdwärmesondenanlagen abgeleitet werden.

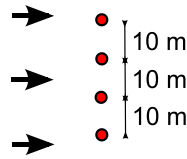
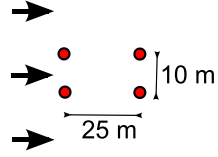
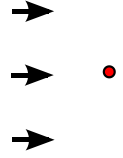
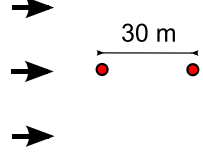
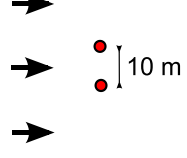
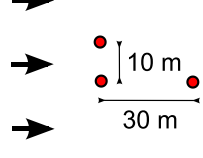
Dazu sind in ausgewählten Volumenelementen Erdwärmesonden-Anlagen mit einer Entzugsleistung beim Betrieb der Sonde von 5,6 kW installiert worden. Dabei wurde von einer jährlichen Betriebszeit der Erdwärmesonde von 2.400 Stunden pro Jahr ausgegangen, wovon 1.800 Stunden pro Jahr für Heizzwecke und 600 Stunden pro Jahr für die Warmwasserbereitung genutzt werden.

Ausgehend von einer Heizperiode mit 185 Tagen und einer „Ruheperiode“ mit ausschließlicher Warmwasserbereitung von 180 Tagen, berechnet sich in der Winterperiode ein tagesdurchschnittlicher Wärmeentzug von 2,3 kW und in der Sommerperiode von 0,78 kW.

In den einzelnen Modellgebieten wurden die in der **Tabelle 6** aufgeführten Sonden- bzw. Anlagenanordnungen untersucht.

Tabelle 6: Untersuchte Sonden- bzw. Anlagenanordnungen (hypothetische Annahmen).

Szenarium	Sondenanzahl	Sonden- anordnung	Entzugs- leistung pro Sonde	Gesamt- entzug
Modellgebiet Barnim-Hochfläche				
1	1 Sonde		5,6 kW	5,6 kW
	2 Sonden		5,6 kW	11,2 kW
3	2 Sonden		5,6 kW	11,2 kW
Modellgebiet Teltow-Hochfläche				
1	2 Sonden		2,8 kW	5,6 kW

Szenarium	Sondenanzahl	Sonden- anordnung	Entzugs- leistung pro Sonde	Gesamt- entzug
2	4 Sonden		2,8 kW	11,2 kW
3	4 Sonden		2,8 kW	11,2 kW
Modellgebiet Urstromtal				
1	1 Sonde		5,6 kW	5,6 kW
2	2 Sonden		5,6 kW	11,2 kW
3	2 Sonden		5,6 kW	11,2 kW
4	3 Sonden		5,6 kW	16,8 kW

Die Wärmetransportmodellierung für die einzelnen Szenarien ergaben die in der **Tabelle 7** dargestellten Ergebnisse für die maximalen Längen und Breiten der Kältefahnen.

Tabelle 7: Modellierungsergebniss der maximalen Längen und Breiten der Kältefahren nach 50 Jahren Betriebszeit für die unterschiedlichen Szenarien (Sondenkonfigurationen siehe Tabelle 6).

Szenarium	1 K Abkühlung		0,5 K Abkühlung	
	Länge	Breite	Länge	Breite
Modellgebiet Barnim-Hochfläche				
1	rd. 5 m	rd. 2 m	rd. 35 m	rd. 15 m
2	rd. 15 m	rd. 5 m	rd. 95 m	rd. 30 m
3	rd. 25 m	rd. 15 m	rd. 90 m	rd. 40 m
Modellgebiet Teltow-Hochfläche				
1	rd. 6 m	rd. 5 m	rd. 50 m	rd. 25 m
2	rd. 7 m	rd. 5 m	rd. 130 m	rd. 60 m
3	rd. 7 m	rd. 5 m	rd. 170 m	rd. 75 m
Modellgebiet Urstromtal				
1	rd. 45 m	rd. 40 m	rd. 100 m	rd. 80 m
2	rd. 95 m	rd. 70 m	rd. 150 m	rd. 115 m
3	rd. 90 m	rd. 75 m	rd. 150 m	rd. 120 m
4	rd. 125 m	rd. 100 m	rd. 185 m	rd. 140 m

Hinweis: Die Größe der Kältefahren stellen erste Modellierungsergebnisse dar. Die Plausibilität der thermischen Eingangsparameter und die Modellierungsergebnisse müssen durch belastbare Messdaten verifiziert werden.

Aus den Berechnungsergebnissen sind im Modul 3 folgende qualitative Aussagen gezogen worden:

Allgemein

- Aufgrund der geologischen Verhältnisse im Land Berlin werden die Ausbreitung und die Gestalt von Kältefahren maßgeblich von der Grundwasserströmungsgeschwindigkeit und -richtung bestimmt. Insbesondere die Grundwasserströmungsrichtung ist bei der Platzierung von Erdwärmesondenanlagen von Bedeutung.
- Der geologische Untergrundaufbau mit seiner Heterogenität hat einen vergleichsweise großen Einfluss auf die Form der Ausbreitung.
- Als Bilanzgröße spielt das seitlich in das Bilanzgebiet zufließende Grundwasser eine bedeutende Rolle für die Regenerierbarkeit der Wärmeressourcen. Bei der Ermittlung der zulässigen Wärmeentzugsleistung darf diese Bilanzgröße aber unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit für die benachbarten Bilanzgebiete nicht berücksichtigt werden.

- In anthropogen beeinflussten Gebieten wie in Berlin bildet der Wärmeeintrag aus der ungesättigten Bodenzone bzw. durch Tiefbauwerke eine weitere Größe, die zur Wärmebilanzierung herangezogen werden kann.
- Benachbarte Anlagen (auch mit relativ kleiner Leistung) beeinflussen sich gegenseitig. Grundsätzlich ist zu beachten, dass die energetische Nutzung nicht die Rechte von Dritten verletzen darf. Dies ist der Fall, wenn die Reichweite der Erdwärmegewinnung die Grenzen des eigenen Grundstücks überschreitet und ein Nachbargrundstück thermisch belastet wird. Bei allen durchgeführten Berechnungsszenarien tritt dieser Fall teilweise schon nach einer Betriebszeit von wenigen Jahren auf.

Bezogen auf die einzelnen Modellgebiete

- Im Vergleich zum Modellgebiet Barnim-Hochfläche sind die Beeinflussungsflächen in einzelnen Untergrundhorizonten im Modellgebiet Teltow-Hochfläche in den meisten Flächen nahezu doppelt so groß. Ursache dafür ist der vergleichsweise geringe Grundwasserzustrom in den tieferen Horizonten.
- Aufgrund der sehr geringen Grundwasserfließgeschwindigkeit bildet sich im Modellgebiet Urstromtal nach längerer Betriebszeit in jedem Fall eine nahezu kreissymmetrische thermische Beeinflussungsfläche aus, die zusätzlich durch eine relativ große Temperaturabsenkung im Nahbereich der Sonden charakterisiert ist.

Die nachhaltig gewinnbare Wärmemenge wurde unter Berücksichtigung des Wärmeeintrags von der Erdoberfläche bezogen auf eine normierte Fläche von 1 km²

- im Modellgebiet Barnim-Hochfläche mit rd. 450 kW/km²,
- im Modellgebiet Teltow-Hochfläche mit rd. 400 kW/km² und
- im Modellgebiet Urstromtal mit rd. 1.200 kW/km²

ermittelt.

Es wurde festgestellt, dass ein über dieses Maß hinausgehender Wärmeentzug letztlich die statischen Vorräte angreift.

Daher ist nach Modul 3 die Gesamtzahl von Wärmepumpenanlagen in einem Gebiet zu limitieren, da es kein unendliches Wärmepotenzial für den Wärmezug durch Erdwärmesonden in einem Gebiet gibt, ohne dass es zu einer Abkühlung des Untergrunds kommt. Es wurden die in der **Tabelle 8** aufgeführten Anlagendichten pro km² vorgeschlagen.

Tabelle 8: Hypothetische Anlagendichten pro km² für die untersuchten Modellgebiete ohne Berücksichtigung der Restriktionsflächen.

Modellgebiet	Anlagenanzahl pro km ²
	Entzugsleistung rd. 5,6 kW ohne dauerhafte Abkühlung
Barnim-Hochfläche	ca. 80 Stck.
Teltow-Hochfläche	ca. 70 Stck.
Urstromtal (Innenstadtbereich)	ca. 210 Stck.

Ausgehend von den Angaben in der **Tabelle 8** kann mit einer angenommenen Anlagendichte von ca. 210 Anlagen pro km² im Innenstadtbereich mit dichter Wohnbebauung im Urstromtal und von ca. 70 Anlagen pro km² auf den übrigen Flächen im Land Berlin das **stark nachhaltig** nutzbare geothermische Potenzial für die Ressourcenklasse 1 ermittelt werden.

Mit einer Entzugsleistung von 5,6 kW und 2.400 Betriebsstunden, einer Gesamtfläche für das Land Berlin von 892 km² (davon entfallen ca.110 km² auf das Urstromtal mit verdichteter Wohnbebauung und 780 km² auf die übrigen Flächen) lässt sich im Sinne einer stark nachhaltigen Nutzung ein geothermisches Potenzial von rd. 1.050 GWh pro Jahr abschätzen. Dies entspricht rd. 3 % des Wärmebedarfs im Land Berlin für das Jahr 2006 mit rd. 39.000 GWh.

5 ERGEBNISSE

In den einzelnen Bearbeitungsmodulen 1, 2 und 3 der Potenzialstudie sind für drei definierte Ressourcenklassen auf Grundlage unterschiedlicher Herangehensweisen und Betrachtungsschwerpunkte das jeweilige energetische Potenzial qualitativ und/oder quantitativ abgeschätzt worden.

In der **Tabelle 9** sind in einer Übersicht die Ergebnisse für die einzelnen Module der Potenzialanalyse bezogen auf die definierten Ressourcenklassen aufgeführt.

Es zeigt sich, dass sich die Ergebnisse je nach Vorgehensweise im Hinblick auf das ermittelte geothermische Potenzial deutlich unterscheiden.

Tabelle 9: Zusammenfassende Übersicht über das ermittelte geothermische Potenzial (nutzbarer Wärmeanteil) in den Modulen 1, 2 und 3.

Ressourcenklasse	Modul 1	Modul 2	Modul 3
1 (bis 100 m)	<p>rd. 9.000 GWh⁶</p> <p>Ca. 2,5 Mio. Erdwärmesonden mit einer Jahresentzugsleistung von 7.030 kWh pro Jahr und Sonde in Wohn-, Misch-, Kern- und Wochenendhausgebieten, mittlere Entzugsleistung 38 W/m.</p> <p><i>Gespeicherte Wärme ($\Delta T = 3 K$) geschätzt 162.143 GWh.</i></p>	<p>rein qualitative Bewertung⁴⁶</p> <p>Ermittlung der spezifischen Wärmeleitfähigkeit und Berechnung der spezifischen Entzugsleistung für 1.800 und 2.400 Betriebsstunden für die Tiefenabschnitte bis 40 m, 0 bis 60 m, 0 bis 80 m und 0 bis 100 m Tiefe.</p> <p>Ergebnisse im digitalen Umweltatlas von Berlin: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i218.htm</p>	<p>rd. 1.050 GWh⁴⁶</p> <p>Stark nachhaltig nutzbar ohne Abkühlung auf natürliches Temperaturniveau.</p> <p>Erdwärmesondenleistung 5,6 kW, 2.400 Betriebsstunden.</p> <p>Hochflächen: ca. 70 Anlagen pro km², Fläche = 780 km². Innenstadtbereich (Urstromtal) ca. 240 Anlagen pro km², Fläche = 110 km²</p>
2 (über 100 m bis 100 °C)	<p>rd. 15.800 GWh⁴⁶ (nutzbarer Wärmeanteil)</p> <p>Nutzungshorizonte: <u>Detfurth-Sandstein</u> <i>Gespeicherte Wärme geschätzt 851.251 GWh, Gewinnungsfaktor 1,5 %, nutzbarer Wärmeanteil rd. 12.800 GWh.</i></p> <p><u>Hettang-Sandstein</u> <i>Gespeicherte Wärme geschätzt 203.000 GWh, Gewinnungsfaktor 1,5 %, Nutzbarer Wärmeanteil rd. 3.000 GWh.</i></p>	<p>rd. 660 GWh^{A), 46} bzw.rd. 8.800 GWh^{B), 46} (je nach Gewinnungssystem)</p> <p>A) Hydrothermale Dublettensysteme Nutzungshorizonte: Sandsteine des Mittleren Buntsandsteins und Sandsteine des Rotliegenden. 150 Anlagen mit 500 kW Leistung</p> <p>B) Tiefe Erdwärmesonden: Sondenabstand 250 m (max. 5.000 SONDENSYSTEME, Dauerleistung max. 1.000 MW), <i>Hinweis: Die Sondenanzahl wurde als nicht realistisch eingestuft.</i></p>	keine Bewertung
3 (über 100 °C)	keine Bewertung	keine Bewertung	

⁶ Zum Vergleich, im Jahr 2006 betrug der Wärmebedarf in Land Berlin rd. 39.000 GWh.

5.1 Oberflächennahe Geothermie

Der Wärmebedarf im Land Berlin für Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und übrige Verbraucher lag im Jahr 2006 bei rd. 39.000 GWh.

Für die Ressourcenklasse 1 (Tiefenbereich zwischen 0 und 100 m Tiefe) ist in der Potenzialanalyse ein nutzbares geothermisches Potenzial

zwischen rd. 1.050 GWh (Modul 3 – stark nachhaltig nutzbar) und
rd. 9.000 GWh (Modul 1)

prognostiziert worden. Dies entspricht zwischen rd. 3 % und rd. 23 % des Wärmebedarfs im Land Berlin für das Jahr 2006.

Auffallend ist der deutliche Unterschied in den jeweils ermittelten geothermischen Potenzialen. Dieser begründet sich in dem jeweils angewendeten Ermittlungsverfahren und dem Maßstab für eine nachhaltige Nutzung.

Entsprechend den Regeln für eine Erdwärmennutzung durch Erdwärmesonden im Land Berlin ist im **Modul 1** eine maximale Erdwärmesondendichte mit einer Erdwärmesonde pro 100 m² angesetzt worden.

Mit einer Fläche der Wohn-, Misch-, Kern- und Wochenendhausgebiete im Land Berlin von 258 km² berechnet sich ohne Flächeneinschränkungen eine theoretisch mögliche Anzahl von 2,58 Mio. einzelnen Erdwärmesonden ohne Berücksichtigung der Restriktionsflächen.

Da jedoch Erdwärmesonden z. B. mangels Fläche nicht errichtet oder Gebäude nicht mit Erdwärmesondensystemen versorgt werden können, da diese höhere Temperaturen erfordern, als diese Systeme wirtschaftlich vertretbar abgeben können, wurde die maximal mögliche Anlagendichte um 50 % reduziert.

Mit einer mittleren Entzugsleistung von 38 W/m, einer 100 m tiefen Erdwärmesonde und einer daraus resultierenden Jahresentzugsleistung von 7.030 kWh pro Jahr berechnet sich ein geothermisches Potenzial von rd. 9.000 GWh pro Jahr.

Im **Modul 3** sind dagegen auf Grundlage von gekoppelten Strömungs- und Wärmetransportmodellierungen für drei ausgewählte Gebiete im Land Berlin mit unterschiedlichen Nutzungen und geologischen Aufbau des Untergrundes beispielhaft die thermischen Auswirkungen einzelner Erdwärmesondenanlagen berechnet worden.

Auf Grundlage der Berechnungsergebnisse und vom Standpunkt einer „starken“ Nachhaltigkeit sind für die einzelnen Modellgebiete Anlagenabstände bzw. Anlagendichten empfohlen worden, um die gegenseitige thermische Beeinflussung der Sondenanlagen untereinander zu minimieren.

Die „starke“ Nachhaltigkeit konzentriert sich auf die Unversehrtheit einer Ressource, um deren Nutzung zu erhalten. Dies bedeutet, dass

erneuerbare Ressourcen nur in dem Maße genutzt werden dürfen, in dem diese sich regenerieren.

Bei der Nutzung einer geothermischen Quelle ist zu berücksichtigen, dass im Gegensatz zu Sonne, Wind und Gezeiten, die geothermische Energie überbeansprucht werden kann.

Durch Windräder und Fotovoltaik kann nicht mehr Energie entzogen werden, als durch Sonneneinstrahlung und Wind eingetragen wird. Bei einer geothermischen Nutzung kann dagegen mehr Energie entzogen werden, als tatsächlich erneuert wird und zu einer überproportionalen Abkühlung des Untergrundes führen, die unter Umständen Jahrzehnte benötigt, bis diese regeneriert ist.

Vor diesem Hintergrund wurden für einzelne Erdwärmesonden – Anlagen folgende Flächengrößen angegeben.

- ca. 240 Anlagen pro km² (rd. 4.200 m² pro Anlage⁷) im Innenstadtbereich im Urstromtal (dichte Wohnbebauung) und
- ca. 70 Anlagen pro km² (rd. 14.300 m² pro Anlage⁸) auf den übrigen Flächen.

Mit einer Erdwärmesondenleistung von 5,6 kW und 2.400 Betriebsstunden kann das geothermische Potenzial mit 1.050 GWh abgeschätzt werden.

In **Modul 2** wurde ausschließlich eine qualitative Beschreibung der oberflächennahen geothermischen Ressource über die Ausweisung spezifischer Wärmeleitfähigkeiten und daraus abgeleitet die spezifische Entzugsleistung für unterschiedliche Tiefenbereiche für kleine Sondenanlagen im Land Berlin ermittelt.

Die Ergebnisse sind im Umweltatlas Berlin Themenbereich 02.18 Geothermisches Potenzial - spezifische Wärmeleitfähigkeit und spezifische Entzugsleistung (Ausgabe 2012) für unterschiedliche Bezugshorizonte dargestellt worden⁹.

Bei der Anwendung der Karten ist zu beachten, dass die kleinräumige Variabilität der Parameter zu berücksichtigen ist, die durch die tatsächlich existierende Datenlage nicht abgedeckt ist.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Berechnungsergebnisse der spezifischen Entzugsleistungen nur für kleine Sondenanlagen (2 Sonden) gelten. Bei größeren Anlagen mit mehr als 2 Sonden (auch unter 30 kW) müssen entsprechende Abschläge bei der spezifischen Entzugsleistung vorgenommen werden, da die Einflussnahme der Sonden untereinander mit steigender Anzahl zunimmt.

5.2 Tiefe Geothermie

Für die Ressourcenklasse 2 (Tiefenbereich zwischen 100 m Tiefe und weniger als 100 °C) wurde folgendes geothermisches Potenzial geschätzt:

⁷ Entspricht einem mittleren Anlagenabstand von rd. 65 m.

⁸ Entspricht einem mittleren Anlagenabstand von rd. 110 m.

⁹ Digitaler Umweltatlas von Berlin:

<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i218.htm>

- Modul 2: zwischen rd. 660 GWh bis 8.800 GWh (in Abhängigkeit vom Gewinnungssystem) und
- Modul 1 rd. 15.800 GWh.

Dies entspricht zwischen rd. 2 % bzw. 20 % (Modul 2) und rd. 40 % (Modul 1) des Wärmebedarfs im Land Berlin für das Jahr 2006 mit rd. 39.000 GWh.

Die deutlichen Unterschiede in dem jeweils ermittelten geothermischen Potenzial begründen sich auch in diesem Fall, in dem jeweils angewendeten Ermittlungsverfahren.

Im **Modul 1** wurde auf Grundlage von Literaturangaben und starken Vereinfachungen ein konzeptionelles Untergrundmodell erstellt und unter Berücksichtigung eines Gewinnungsfaktors eine erste quantitative Schätzung des nutzbaren geothermischen Potenzials über den geschätzten Wärmeinhalt des Untergrundes durchgeführt.

Da nach dem vorliegenden Kenntnisstand nur der Detfurth-Sandstein und der Hettang das Potenzial für eine wirtschaftliche thermische Nutzung besitzen, wurden für die Prognose nur diese beiden Gewinnungshorizonte berücksichtigt. Hier ist festzustellen, dass große Unsicherheiten insbesondere in Hinblick auf deren Verbreitung und Mächtigkeit im Land Berlin bestehen.

Im **Modul 2** sind für die Prognose ein differenziertes geologisches Untergrundmodell und ein geothermisches Tiefenmodell mit Prognosen zur Temperaturverteilung, den Wärmestromdichten und Annahmen zu den mittleren Wärmeleitfähigkeiten für die einzelnen geologischen Einheiten erstellt worden.

Die Darstellung und Quantifizierung der nutzbaren geothermischen Ressource für die Ressourcenklassen 2 und 3 erfolgte aus dem Blickwinkel der unterschiedlichen technischen Möglichkeiten zur Nutzung des im tiefen geologischen Untergrund gespeicherten geothermischen Potenzials.

Hier stand die Nutzung mit tiefen Erdwärmesonden mit einer maximalen Tiefe von 2.000 m und 2.000 Volllaststunden sowie hydrothermale Dublettensysteme, die die beiden relevanten Nutzhorizonte im Land Berlin erschließen im Vordergrund (Sandsteine des Rotliegenden und des Mittleren Buntsandsteins).

Für beide Gewinnungssysteme wurden jeweils einheitliche Annahmen für die Wärmeleistung und den Flächenbedarf getroffen und das nutzbare geothermische Potenzial berechnet.

Im Modul 2 wurde vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit nachdrücklich darauf hingewiesen, dass das prognostizierte Potenzial bei einer Nutzung mit tiefen Erdwärmesonden als nicht realistisch einzustufen ist. Es wird nur von wenigen Einzelprojekten ausgegangen, die nur unwesentlich zur Energiebilanz beitragen.

Aufgrund der gewählten Verfahren zur Ermittlung des geothermischen Potenzials des tieferen Untergrundes

- im Modul 1 mit einem sehr einfachen konzeptionellen Modell, einer Schätzung der gespeicherten Wärme und der Anwendung eines Gewinnungsfaktors und
- im Modul 2 mit einheitlichen Annahmen für die Wärmeleistung und den jeweiligen Flächenbedarf für die beiden möglichen Gewinnungssysteme

ergeben sich deutliche Unterschiede für das nutzbare geothermische Potenzial der beiden Nutzungshorizonte.

In diesem Zusammenhang ist auf die unsichere Ausgangsdatenlage hinzuweisen: Im Land Berlin sind nur drei Bohrungen vorhanden, die den tieferen Untergrund erschließen!

Für das nutzbare geothermische Potenzial der Ressourcenklasse 3 wurden weder in Modul 1 noch in Modul 2 Prognosen abgegeben. Die Datenlage ist in beiden Modulen als zu unsicher und nicht belastbar eingestuft worden, um eine fundierte Prognose abgeben zu können.

5.3 Nutzungseinschränkungen

Die Anforderungen an die Nutzung von oberflächennaher Geothermie im Land Berlin sind in einem Leitfaden¹⁰ zusammengestellt. Dort werden ausführlich das behördliche Verfahren, die Planung und Auslegung von Anlagen zur Erdwärmennutzung, die Standortbeurteilung und die technischen Anforderungen an die Anlage und das Erlaubnisverfahren beschrieben.

Grundsätzlich ist die Nutzung von Erdwärme des Bodens und des Grundwassers in den ausgewiesenen Wasserschutzgebieten des Landes Berlin wegen entsprechender Regelungen in den jeweiligen Wasserschutzgebietsverordnungen, unabhängig von einem bestimmten Abstand der Anlage zum zu erwartenden witterungsbedingt höchsten Grundwasserstand verboten.

Für eine Erdwärmennutzung innerhalb kontaminierter Bereiche von Altlasten, schädlichen Boden- oder Grundwasserveränderungen und besonderen hydrogeologischen Standortverhältnissen, z. B. Gebiete mit potenziellen Aufstiegszonen chloridreicher Wässer, liegen keine verbindlichen einheitlichen Regeln vor. In diesen Fällen wird über die Möglichkeit der Nutzung im Rahmen der Einzelfallprüfung entschieden.

In Gesprächen mit der Bodenschutzbehörde, der Landesgeologie und der Wasserbehörde ist im **Modul 1** der Potenzialstudie ein erweiterter Kriterienkatalog in Hinblick auf mögliche Einschränkungen oder

¹⁰ Erdwärmennutzung in Berlin; Leitfaden für Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren mit einer Heizleistung bis 30 kW außerhalb von Wasserschutzgebieten. Stand: Februar 2012:
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/wasser/wasserrecht/pdf/leitfaden-erdwaerme.pdf>

spezifischen Auflagen aus Sicht der einzelnen Fachabteilungen zusammengestellt worden.

Wasserwirtschaftlich unzulässig sind:

- Altlastenflächen
Im Bereich von Altlasten ist die Nutzung von Grundwasser zu Heiz- und Kühlzwecken (Entnahme- und Versickerungsbrunnen, Grundwasserzirkulationsbrunnen) durch offene Systeme als unzulässig einzustufen.

Hydrogeologisch / wasserwirtschaftlich ungünstig sind:

- Gebiete mit potenziellen Aufstiegszonen chloridreicher Wässer.
- Gebiete mit einer Rupeltonhochlage.
- Gebiete, in denen artesisches Grundwasser potenziell auftreten kann.

In den oben benannten Gebieten ist über die Möglichkeit der Nutzung der oberflächennahen geothermischen Ressource im Rahmen einer Einzelfallprüfung zu entscheiden.

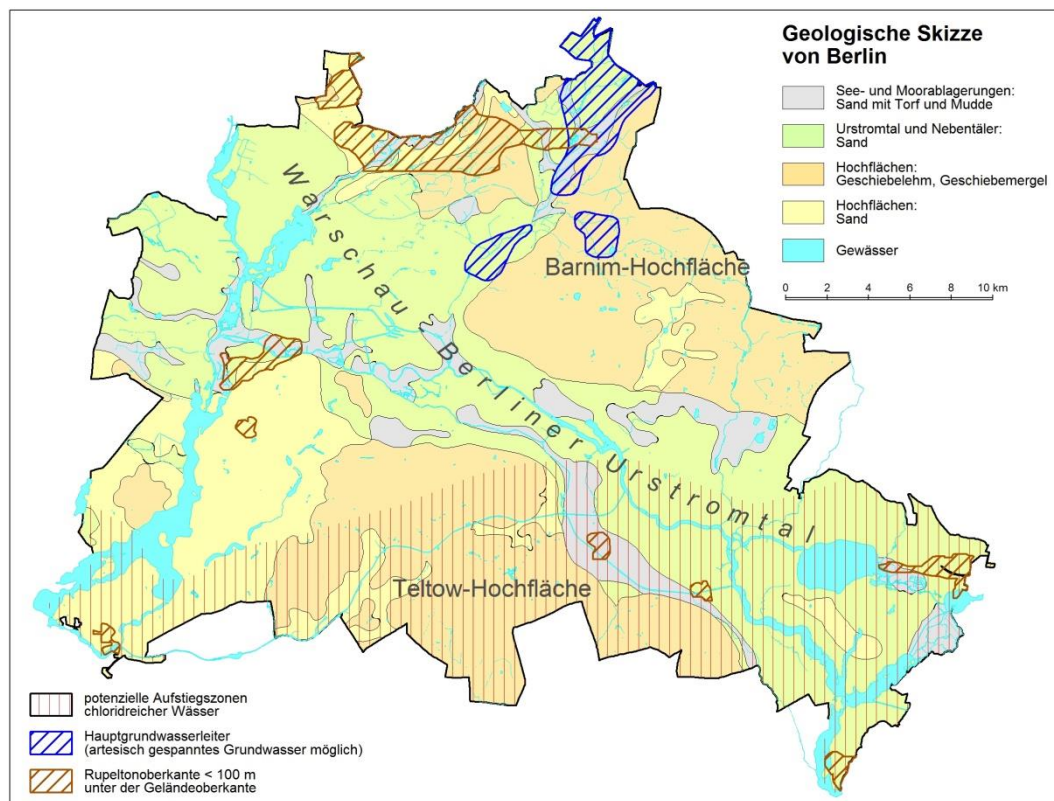


Abbildung 5: Gebiete, die für eine geothermische Nutzung als hydro-geologisch ungünstig eingestuft werden.

Ein zusätzlicher sensibler Punkt ist der Abstand zu nächstgelegenen Erdwärmeanlagen. In der aktuellen Erlaubnispraxis ist dieser Abstand mit 10 m geregelt.

In Abhängigkeit vom gegenseitigen Abstand und der jeweiligen Entzugsleistung können sich benachbarte Erdwärmesondenanlagen

gegenseitig beeinflussen, was zu einer Überbeanspruchung der thermischen Ressource und Einbußen in der Produktivität dieser Systeme führen kann. Dies betrifft insbesondere eine größere Anzahl kleiner Anlagen auf einem begrenzten Areal.

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse aus den Modellierungen wurde im **Modul 3** empfohlen, Mindestabstände in Abhängigkeit von der Grundstücksgröße, den geologisch/hydrologischen Verhältnissen und der beabsichtigten Entzugsmenge einzuführen.

6 BEWERTUNG

6.1 Nutzen und Verwertbarkeit

Im Rahmen der Potenzialstudie zur Nutzung der geothermischen Ressourcen im Land Berlin, Module 1 bis 2, wurde ein dreidimensionales Modell des Berliner Untergrundes erstellt, welches die geologische Situation von der Erdoberfläche bis in eine Tiefe von 5.000 m darstellt.

Auf Grundlage des Modells sind für den oberflächennahen Untergrund bis in 100 m Tiefe, Karten abgeleitet worden, die für mehrere Tiefenabschnitte Informationen über das nutzbare geothermische Potenzial durch Erdwärmesonden qualitativ bereitstellen.

Die Angaben in diesem Kartenwerk können für Planungszwecke und Genehmigungsverfahren genutzt werden.

Durch die Einbindung in den Internetauftritt des Berliner Senates sind diese Informationen für den interessierten Nutzer schnell und übersichtlich zugänglich.

Im Modul 3 sind für drei ausgewählte Gebiete im Land Berlin die nutzbaren geothermischen Potenziale (gewinnbare Wärmemenge) für den oberflächennahen Untergrund unter der Maßgabe einer „starken“ Nachhaltigkeit ermittelt und Anlagenabstände unter Berücksichtigung einer Minimierung der gegenseitigen thermischen Beeinflussung voneinander unabhängiger Sondenanlagen empfohlen worden.

Diese Empfehlungen können insbesondere für das Erlaubnisverfahren Hinweise geben, um eine „Überbeanspruchung“ der geothermischen Ressource und Nutzungskonflikte zu vermeiden.

Das geschätzte geothermische Potenzial für den tieferen Untergrund mit mehr als 100 m in den Modulen 1 und 2 ist mit relativ großen Unsicherheiten versehen. Die Ursache liegt in den wenigen verfügbaren Daten und dem jeweils verwendeten Prognosemodell.

Durch das Zusammenführen der vorhandenen Daten und das erarbeitete dreidimensionale Modell für den tieferen Untergrund wurde der aktuelle Kenntnisstand in Hinblick auf die geologischen und geothermischen Verhältnisse zusammengefasst und geschlossen interpretiert. Die Daten erlauben eine erste qualitative und grobe quantitative Schätzung des geothermischen Potenzials im regionalen Maßstab und können als Grundlage für weitere Überlegungen in Hinblick auf den Ausbau der tieferen Geothermie genutzt werden.

7 QUELLEN

- /1/ HENNING ENERGIE- UND UMWELTBERATUNG (2009): Potenzialstudie zur Nutzung der geothermischen Ressourcen des Landes Berlin - Modul 1, Grundlagenermittlung, Endbericht.
- /2/ HYDRO-GEO-CONSULT GMBH, GEOS INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (2011): Potenzialstudie zur Nutzung der geothermischen Ressourcen des Landes Berlin (Modul 2), Abschlussbericht zu den Ergebnissen.
- /3/ ARCADIS, HYDOR (2012): Potenzialstudie zur Nutzung der geothermischen Ressourcen des Landes Berlin, Modul 3: Thermisch-hydraulische Modellierung, Abschlussbericht zu den Ergebnissen.
- /4/ VDI 4640 BLATT 2 (2001): Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen
- /5/ HONARMAND & VÖLKER (1999): Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit an Bohrkernen der Grundwassermessstelle 7247 in Berlin-Lankwitz. Abschlussbericht im Auftrag der Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz.
- /6/ SIA-NORM 384/6 (2010): Erdwärmesonden.
- /7/ HENNING (2011): Prognose zum Temperaturverlauf im tieferen Untergrund von Berlin.
- /8/ INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSTFORSCHUNG (IÖW) 2011: Potenziale erneuerbarer Energien in Berlin 2020 und langfristig - Quantifizierung und Maßnahmengenerierung zur Erreichung ambitionierter Ausbauziele, Schriftenreihe des IÖW 198/11.