

Eine Publikation der
MA 20 – Energieplanung

Erdwärmepotenzialerhebung Stadtgebiet Wien

ENDBERICHT, JUNI 2014



Projekt WC-31

Erdwärmepotenzialerhebung Stadtgebiet Wien, Modul 1

Endbericht

Im Auftrag der Abteilung MA20 des Magistrats der Stadt Wien

GÖTZL G.,
FUCHSLUGER M., RODLER F.A., LIPIARSKI P.
& PFLEIDERER S.

69 Seiten, 33 Abbildungen, 7 Tabellen, 4 Anhänge und 4 Beilagen

Geologische Bundesanstalt Wien, April 2014

Anschrift des Projektleiters: gregor.goetzl@geologie.ac.at

Geologische Bundesanstalt , 1030 Wien Neulinggasse 38.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Sachgegenstand und Zielsetzung	4
1.2	Übersicht der betrachteten Nutzungssysteme	6
1.3	Vorgehensweise und Projektbearbeitung	9
2	Datengrundlage	14
2.1	Daten der Geologischen Bundesanstalt	14
2.1.1	Hydrogeologische Grundlagen	14
2.1.2	Thermische Gesteinsparameter	15
2.2	Daten der Magistratsabteilungen der Stadt Wien	15
2.2.1	Geologische Bohrprofile	15
2.2.2	Thermal Response Tests	18
2.2.3	Allgemeine Hydrogeologische Informationen	18
2.2.4	Grundwasserhöhen	20
2.2.5	Grundwasser Temperaturen.....	21
2.2.6	Nutzerdaten	21
2.3	Externe Daten	21
2.3.1	Wiener Gewässermanagement Management Gesellschaft mbH.....	22
2.3.2	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG).....	22
2.3.3	Pöyry Energy GmbH	24
2.3.4	Verbund Hydropower	24
2.3.5	Bohrfirmen sowie technische Büros	25
2.4	Zusammenfassung und Bewertung	25
3	Flächendeckende Potenzialkarten	25
3.1	Geschlossene Wärmetauschersysteme (Erdwärmepumpen)	26
3.1.1	Einleitung	26
3.1.2	Vorgehensweise und Methodik	27
3.1.3	Ansatz zur Berücksichtigung der ungesättigten Zone	30
3.1.4	Ergebnisse	31
3.1.5	Kalibrierung mit Thermal Response Tests.....	37

3.1.6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	38
3.2	Thermische Grundwassernutzung	39
3.2.1	Einleitung	39
3.2.2	Vorgehensweise und Methodik	40
3.2.3	Ergebnisse	43
3.2.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	46
3.3	Zusammenfassung	46
4	Potenzialerhebung in Detailgebieten	47
4.1	Einleitung	47
4.2	Vorgehensweise und Methodik	49
4.2.1	Potenzial geschlossener Wärmetauschersysteme (Erdwärmepumpen)	49
4.2.2	Potenzial thermischer Grundwassernutzung	51
4.3	Ergebnisse	54
4.3.1	Geschlossene Wärmetauschersysteme	54
4.3.2	Thermische Nutzung des obersten Grundwasserkörpers	56
4.3.3	Systemvergleich	57
4.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	58
5	Metadatendokumentation und Lieferung von Ergebnissen	59
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	64
6.1	Flächendeckende Potenzialkarten	65
6.2	Detailgebiete	65
	Beilagenverzeichnis	66
	Abbildungsverzeichnis	67
	Tabellenverzeichnis	69
	Literaturnachweis	69

1 EINLEITUNG

1.1 Sachgegenstand und Zielsetzung

Die Magistratsabteilung MA20 des Magistrats der Stadt Wien erteilte der Geologischen Bundesanstalt am 21.10.2013 mit der Erhebung und Bewertung des Erdwärmepotenzials für Wien sowie mit der Erstellung einer entsprechenden Zonierungskarte (GZ: MA20-744883/13). Der Begriff „Erdwärmepotenzial“ umfasst hierbei die unter der Bezeichnung „oberflächennahe Geothermie“ oder „seichte Geothermie“ zusammengefassten Anwendungssysteme zur Bereitstellung von Raumwärme und Kälte sowie zur optionalen saisonalen Wärmespeicherung. Dieser Auftrag wurde in weiterer Folge mit dem Akronym WC-31 versehen.

Im Wiener Stadtgebiet ist seit einigen Jahren ein gesteigertes Interesse an der Nutzung der oberflächennahen Geothermie zu beobachten. Neben der Nutzung der Erdwärme in Form geschlossener Wärmetauscher Systeme (Erdwärmesonden oder Horizontalkollektoren) findet die Nutzung seichter Grundwasserkörper (thermische Grundwassernutzung) immer intensiver statt. Zum Zeitpunkt der Studie WC-31 waren gemäß Wasserbuch der Stadt Wien in Wien 1839 geothermische Nutzungen erfasst. Davon entfallen 46% auf geschlossene Wärmetauschersysteme (Erdwärmesonden und Horizontalkollektoren), 45% auf thermische Grundwassernutzungen zum Heizen und / oder Kühlen, 9% auf ausschließliche Kühlung sowie <1% auf die thermische Nutzung von Bauteilen (z.B. Bodenplatten oder Energiepfähle) (siehe hierzu auch Abbildung 1).

Im Allgemeinen sind oberflächennahe geothermische Nutzungen im Raum Wien mit einem geringen Erfolgsrisiko verbunden. Problematisch sind jedoch Nutzungen, die nicht den geologischen Voraussetzungen am Standort entsprechen sowie Nutzungskonflikte infolge einer zu großen Nutzerdichte. Zum Ersteren zählen vor allem thermische Grundwassernutzungen außerhalb der produktiven Grundwasserkörper (z.B. in lokal verbreiteten, gering leitenden Grundwasserschichten). Nutzungskonflikte treten hingegen dann auf, wenn eine thermische Beeinflussung durch Temperaturfahnen, verursacht von fremden Nutzungen zu beobachten ist. Hierzu ist anzumerken, dass die bisherige Genehmigungspraxis in Wien das „First-Come First-Serve“ Prinzip vorsah, ohne eine lokale energetische Nutzungsoptimierung des vorhandenen Grundwasserkörpers zu berücksichtigen. Dies kann gebietsweise zur Blockade von thermischen Nutzungspotenzialen infolge der Einwirkung einzelner bereits genehmigter Nutzer führen.

Die Ausgangsdaten zur Beurteilung von Anwendungspotenzialen der oberflächennahen geothermischen Anwendungen umfassen viele Aspekte des Untergrunds und liegen zumeist sehr heterogen aus verschiedenen Datenquellen vor, die zudem oft von unterschiedlichen Behörden verwaltet werden.

Übersicht der erfassten aktiven Nutzungen in Wien

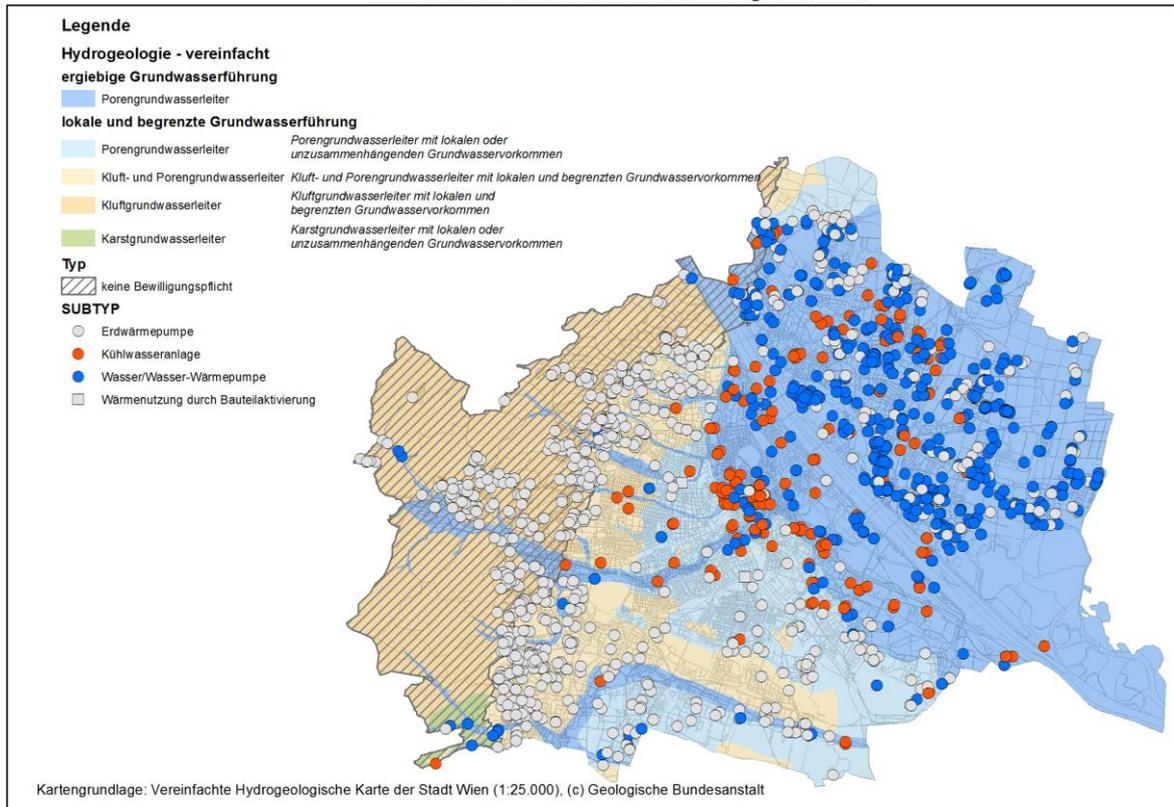


Abbildung 1: Übersicht der erfassten aktiven Geothermie Anwendungen in Wien. Die grauschraffierte Fläche stellt jenen Bereich der Stadt Wien dar, in welchem die Nutzung der oberflächennahen Geothermie bewilligungsfrei ist. Deutlich zu erkennen sind die Schwerpunktgebiete der verschiedenen Nutzungsformen, die im Wesentlichen mit dem geologischen Aufbau des Untergrundes und den infrastrukturellen Voraussetzungen korrelieren. So befindet sich der Schwerpunkt der thermischen Grundwassernutzung im Bereich der ausgedehnten Grundwasserkörper (20. Bezirk bis 22. Bezirk). Der Schwerpunkt der geschlossenen Anwendungen befindet sich hingegen im Bereich des westlichen Stadtrands. Hierbei handelt es sich um Gebiete, in denen keine geeigneten Grundwasserkörper vorherrschen und die Gas- und Fernwärmeversorgungsnetze nicht flächendeckend ausgebaut sind.

Die Zielsetzung der Studie WC-31 umfasste daher:

- Die Erfassung der vorhandenen Datenlage zur Beurteilung von Anwendungspotenzialen der oberflächennahen Geothermie. Dies umfasste auch die Identifizierung des Datenbestands der involvierten Magistratsabteilungen.
- Die Erhebung von Basisdaten zur Erarbeitung generalisierter, flächendeckender Potenzialkarten für das gesamte Stadtgebiet für die wichtigsten Anwendungssysteme der oberflächennahen Geothermie.

- Vertiefende Analysen der geothermischen Anwendungspotenziale in 5 ausgewählten Detailgebieten (siehe hierzu auch Kapitel 4).

- Die Bewertung der Datenlage und Ausarbeitung geeigneter Vorgehensweisen für zukünftige optimierte Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Die Studie WC-31 ist in diesem Zusammenhang als Pilotstudie zu einem angestrebten systematischen Bewirtschaftungskonzept der oberflächennahen Geothermie in Wien zu verstehen, welches auf folgende Maßnahmen gestützt werden sollte:

- i. *Informationsportale* für Bürger und Behörden

- ii. *Regionale Planung* zukünftiger Nutzungen in Gebieten mit erhöhter Nutzerdichte unter Berücksichtigung der bestehenden Nutzungen

- iii. *Laufendes Monitoring* des geothermischen Anwendungspotenzials in Gebieten mit bereits beobachteten oder zu erwartenden Beeinträchtigungen infolge erhöhter Nutzungsdichten.

1.2 Übersicht der betrachteten Nutzungssysteme

Generell gibt es viele verschiedene geothermische Anwendungsmethoden. Diese lassen sich nach folgenden Gesichtspunkten gliedern:

- Tiefe der Nutzung
- Temperaturniveau der Nutzung
- Wärmeübertragungsprozess

Für die Bezeichnung oberflächennahe Geothermie (Einteilung nach Tiefe der Nutzung) kann in Österreich ein Tiefenbereich bis max. 300 Meter unter Gelände eingegrenzt werden. Ab dieser Schwellentiefe sind Tiefbohrungen nach dem Bergrecht (MinroG, BGBl. 1999/38 i.d.g.F.) bewilligungspflichtig. In jüngster Vergangenheit konnte ein neuer Trend hin zu so genannten Anwendungen der „Mitteltiefen Geothermie“ vor Allem in der Schweiz beobachtet werden. Hierbei werden aufgrund des Mangels an Freifläche in Siedlungsgebieten tiefe Erdwärmesonden oder tiefe Grundwassernutzungen angestrebt, um eine größere Energieausbeute pro an der Oberfläche genutzter Fläche zu erzielen. Hierbei handelt es sich um Tiefsonden oder Tiefbrunnen, die deutlich über der Bewilligungsgrenze gemäß MinroG 1999 liegen.

In Österreich stellen so genannte Tiefsonden bislang die Ausnahme dar und wurden vor Allem für die Energieversorgung von Großbauten eingesetzt. Im Rahmen der Studie WC-31 wurden nur Systeme der oberflächennahen Geothermie betrachtet.

Neben der Gliederung nach der Tiefe lassen sich geothermische Anwendungen auch gemäß dem Temperaturniveau der Quelle unterscheiden. Hierbei bildet bei Berücksichtigung der Gebäudeklimatisierung und Gebäudebeheizung die Anwendung von Wärmepumpen das kritische Temperaturniveau ab. Ist zur Bereitstellung der benötigten Raumwärme oder Raumkühlung keine Wärmepumpe notwendig, so spricht man von einer direkten Nutzung. Ist die Zwischenschaltung einer Wärmepumpe notwendig, so liegt eine indirekte Nutzung vor.

Darüber hinaus lassen sich geothermische Anwendungen auch noch mittels der Art der Wärmeübertragung unterscheiden. Diese kann indirekt über geschlossene Wärmetauschersysteme (Wärmeleitung) oder direkt über Fluidaustausch in offenen Systemen (Wärme Advektion) erfolgen. Die thermische Nutzung des Grundwassers mittels Wasser – Wasser Wärmepumpen stellt ein offenes System dar. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sich diese Nomenklatur nur auf den Primärkreislauf der geothermischen Quelle bezieht. Die Wärmeübertragung von der geothermischen Quelle (Tiefsonde oder Grundwasserstrom) auf die Wärmepumpe oder das Heiz- bzw. Kühlsystem erfolgt gemäß dieser Nomenklatur stets über einen Wärmetauscher.

Zuletzt lassen sich geothermische Anwendungssysteme auch über den Typ des Wärmeträgermediums klassifizieren. Die gebräuchlichsten Anwendungen stellen hierbei Sole (geschlossene Systeme) oder Wasser (offene Systeme) betriebene Primärkreisläufe (Sonde, Brunnen) dar. Darüber hinaus werden auch CO₂ betriebene Anwendungssysteme angeboten, die sich jedoch nur zu Wärmegewinnung, jedoch nicht zur Kühlung anwenden lassen. Im Rahmen des Projekts WC-31 wurden diese Anwendungssysteme ausgeblendet.

Generell ist an dieser Stelle anzumerken, dass die im Rahmen von WC-31 getätigten Potenzialerhebungen nur auf den Primärkreislauf der geothermischen Wärmegewinnung beziehen und Effizienz von Wärmepumpen in den Betrachtungen nicht berücksichtigt worden sind.

Im Rahmen der Studie WC-31 wurden nur Anwendungen der oberflächennahen Geothermie mit Fokus auf eine indirekte Nutzung (Wärmepumpen Anwendung) untersucht. Gemäß den geowissenschaftlichen Standortvoraussetzungen im Untergrund der Stadt Wien wurde die Potenzialerhebung auf folgende Anwendungssysteme eingeschränkt:

- Erdwärmesonden mit einer maximalen Tiefe von 300 Meter (geschlossene Wärmetauschersysteme, Sole betrieben).

- Nutzung thermisch aktivierter Bauteile (geschlossene Wärmetauschersysteme, Sole betrieben, Tiefenbereich Untergrund bis 30 Meter unter Gelände).

- Thermische Nutzung des obersten Grundwasserkörpers (Wasser – Wasser Wärmepumpe oder direkte Nutzung zur Kühlung).

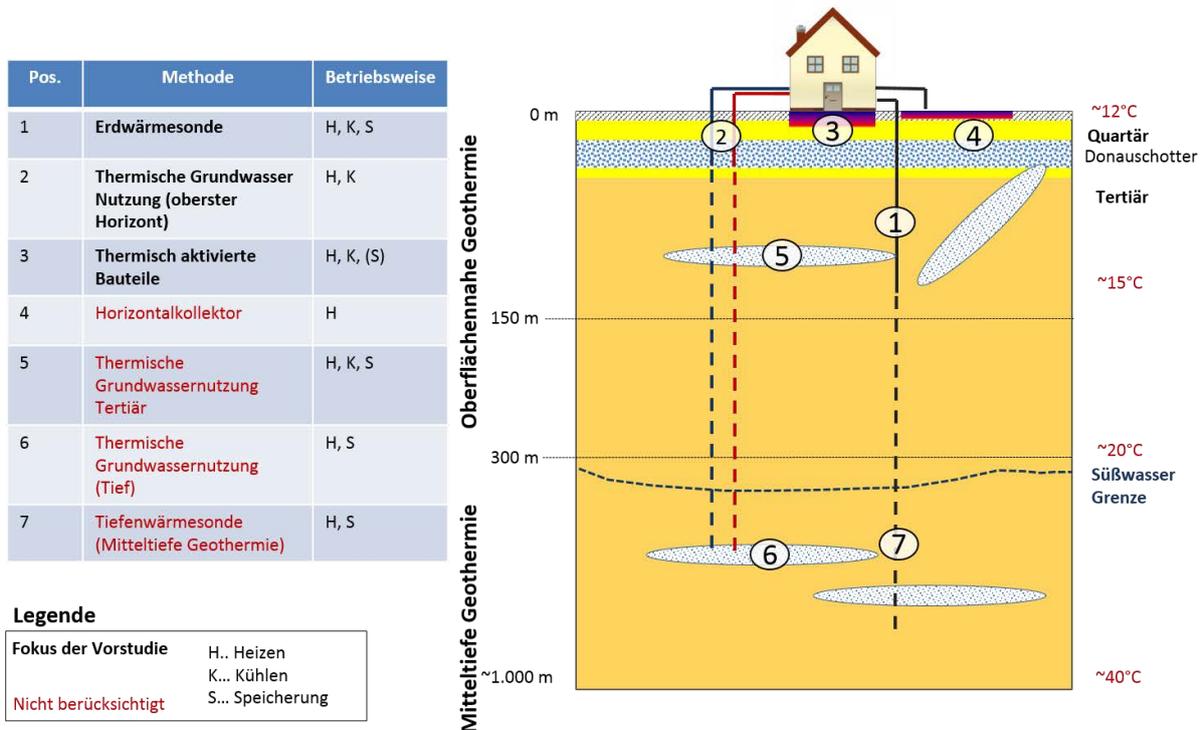


Abbildung 2: Übersichtsschema der betrachteten geothermischen Anwendungssysteme.

Abbildung 2 zeigt eine Auswahl möglicher geothermischer Anwendungssysteme im Bereich des Wiener Stadtgebiets. Nicht im Fokus der Studie WC-31 lagen:

- Horizontalkollektoren (geschlossene Systeme): Diese liegen einerseits aufgrund des erhöhten Flächenbedarfs nicht im Fokus städtischer Energieversorgungsplanungen und nutzen zudem primär die thermische Aufladung des seichten Untergrundes durch Sonneneinstrahlung.
- Nutzung tieferer Grundwasserhorizonte: In weiten Teilen des Untergrundes der Stadt Wien sind tertiäre Süßwässer unterhalb des obersten Grundwasserhorizonts anzutreffen. In manchen Gebieten stellen tertiäre Grundwasserkörper sogar den obersten Grundwasserhorizont dar. Aus wasserwirtschaftlichen Überlegungen wurden tertiäre Süßwasserkörper in der Potenzialerhebung ausgeklammert, sofern diese von einem quartären Grundwasserkörper überlagert worden sind. In jenen Arealen, in denen tertiäre Grundwasserkörper den obersten Grundwasserhorizont bilden, wurden diese berücksichtigt. Im Allgemeinen ist anzumerken, dass die Produkti-

vität der tertiären Grundwasserkörper (maximale Schüttung bzw. Schüttung bei vorgegebenem Energieaufwand) deutlich unter jener der quartären Grundwasserkörper liegt. Zudem liegen diese Grundwasserkörper zumeist nur in Form lokal isolierter Wasserlinsen vor.

- Ein im Rahmen der Studie WC-31 nicht berücksichtigter Aspekt stellen Anwendungen der mitteltiefen Geothermie dar. Hierunter sind die bereits angesprochenen Tiefen Erdwärmesonden sowie die Nutzung von Grundwasservorkommen zu verstehen, die nicht für die Trink- oder Nutzwasserversorgung in Betracht gezogen werden. Dies gilt für jene Grundwasserkörper, die unterhalb der Süßwassergrenze liegen, die sich im Wiener Stadtgebiet im Tiefenbereich zwischen 200 und 400 Meter unter Gelände bewegt. Nutzungspotenziale der mitteltiefen Geothermie können jedoch in zukünftigen Bearbeitungsmodulen berücksichtigt werden.

Die im Rahmen der Studie WC-31 getroffene Einschränkung auf geothermische Nutzungen mittels Erdwärmesonden (1), der thermischen Grundwassernutzung des obersten Horizonts (2) und der Nutzung thermisch aktivierter Bauteile deckt den Großteil der in Wien in Anwendung befindlichen Systeme ab. Für detaillierte technische Beschreibungen dieser Anwendungssysteme sei auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

1.3 Vorgehensweise und Projektbearbeitung

Gemäß dem Angebot der Geologischen Bundesanstalt gliederte sich das Projekt WC-31 in 17 Arbeitsschritte, die 2 Hauptphasen zugeordnet wurden. Die Bearbeitungsphase 1 umfasst die Bestandsaufnahme und Erhebung von Basisdaten zur Beurteilung des geothermischen Anwendungspotenzials (Arbeitsschritte 1 – 9) und endete mit einem Midterm Workshop (Pos. 10). Die Bearbeitungsphase 2 befasste sich mit der Auswertung der Anwendungspotenziale und der Erarbeitung der Potenzialkarten (Arbeitsschritte 11 – 16). Eine detaillierte Auflistung der durchgeführten Arbeitsschritte ist der nachfolgenden Tabelle 1 zu entnehmen. Für eine detaillierte Beschreibung der durchgeführten Arbeiten und den daraus erzielten Ergebnisse sei jedoch auf die nachfolgenden Kapitel verwiesen.

Tabelle 1: Übersicht der geplanten und realisierten Aufgabenschritte. Rot eingefärbte Beschreibungen repräsentieren Arbeitsschritte, die geändert oder nicht durchgeführt worden sind. Blau eingefärbte Beschreibungen repräsentieren zusätzlich durchgeführte Arbeitsschritte.

Pos.	Aufgabe Arbeitsschritt	Beschreibung	Ergebnis
1	Vorbereitung und Teilnahme an Kick-Off Workshop	<i>Abstimmung der Datenerhebung mit Auftraggeber auf Grundlage eines Metadaten Erhebungsbogens</i>	Der Workshop fand am 29.10.2013 statt.
2	Entwurf Projektdatenbank	<i>Datenbank zur Erfassung von Metadaten und Bestandsdaten.</i>	Wurde in Form von dokumentierten GIS Layers realisiert.
3	Erhebung und Verarbeitung geologischer und hydrogeologischer Unterlagen	<i>Unterlagen GBA (Hydrogeologische Vorstudien)</i> <i>Unterlagen MA29 (Bohrungskataster)</i> <i>Unterlagen MA45 (Wasserbuch, Hydrografischer Dienst)</i>	Die Datenerhebung wurde am 24.02.2014 abgeschlossen (Datenlieferung MA45). Zusätzlich wurden auch Daten von der Fa. Pöyry angekauft. Siehe hierzu auch Kapitel 2.3.
4	Erhebung und Verarbeitung von Nutzerdaten	<i>Unterlagen Wasserbuch</i> <i>Unterlagen sonstige Behördenstellen</i> <i>Klassifizierung der Nutzer gemäß Anwendungsform</i>	Die Datenerhebung wurde am 13.01.2014 abgeschlossen. Siehe hierzu auch Kapitel 2.2.
5	Erhebung und Verarbeitung thermischer Gesteinseigenschaften inklusive thermische Übertragungsleistungen.	<i>Erhebung von Thermal Response Tests</i> <i>Erhebung sonstiger Unterlagen</i>	Die Datenerhebung wurde am 10.03.2014 abgeschlossen. Siehe hierzu auch Kapitel 2.2.
6	Erhebung und Sichtung von Grundwasser Daten	<i>Erhebung und Klassifizierung vorhandener Messstellen</i> <i>Erhebung von Grundwasserpotenzial Daten</i> <i>Erhebung von Grundwasser Temperatur Daten</i> <i>Erhebung von Grundwasser Chemismus</i>	Die Erhebung von Grundwasserständen und Grundwasser Temperaturen wurde am 17.03.2014 abgeschlossen. Hierbei wurden zusätzlich auch Daten der Firmen Verbund Hydropower und Pöyry angekauft. Siehe hierzu auch Kapitel 2.2 und 2.3.

			Auf die Erhebung von Kenndaten zum Grundwasserchemismus wurde aus zeitlichen Gründen verzichtet.
7	Erhebung und Verarbeitung von Bodentemperatur Daten	<i>Thermal Response Tests</i> <i>Sonstige Daten</i>	Die Erhebung von Bodentemperaturen (Thermal Response Tests und Bodentemperaturen der ZAMG) wurde am 10.03.2013 abgeschlossen. Siehe hierzu Kapitel 2.3.
8	Erhebung und Verarbeitung topografischer Daten	<i>Flächenwidmungspläne etc.</i>	Die Erhebung der topografischen Informationen wurde am 18.12.2013 abgeschlossen. Siehe hierzu auch Kapitel 5.
9	Abschluss Projektdatenbank	<i>Review Datenbank Inhalte</i> <i>Layout und Funktionalität</i>	Die Projektdatenbank wurde in Form der gelieferten GIS Datenlayer inkl. Metadaten Dokumentation am 24.04.2014 abgeschlossen. Siehe hierzu auch Kapitel 5.
10	Vorbereitung und Teilnahme an Midterm Workshop und Abschluss Phase 1	<i>Abstimmung der Potenzialkarten (Themen)</i> <i>Bewertung der Datenlage</i> <i>Präsentation von Zwischenergebnissen</i>	Der Midterm Workshop wurde am 11.12.2013 abgehalten.
11	Aufbau hydrogeologischer Kartenserien (Zielmaßstab 1:25.000)	<i>Typus Profile und Homogenbereiche des geologischen Untergrundes</i> <i>Zonierungskarte und Merkmale relevanter Grundwasserkörper</i>	Da die Erhebung von Basisdaten aufgrund des kurzen Bearbeitungszeitraums nur exemplarisch erfolgen konnte, wurde auf die Erstellung eigener hydrogeologischer Kartenserien verzichtet. Die erarbeiteten Modelle flossen aber in der Erstellung von Potenzialkarten ein (siehe Pos. 14 & 15).

			Siehe hierzu auch Kapitel 3.2.
12	Aufbau Nutzerkarte	<i>Bestandskarte der klassifizierten Nutzer</i>	In Abstimmung mit den involvierten Magistratsabteilungen wurde auf die Veröffentlichung einer derartigen Karte verzichtet. Der Bestand an Nutzungen wurde im Rahmen einer öffentlichen Präsentation (siehe Pos. 17) dargestellt.
13	Kartenserie Grundwasserverhältnisse	<i>Temperatur und Potenzialkarten Änderung der Grundwassertemperaturen</i>	Da die Erhebung von Basisdaten aufgrund des kurzen Bearbeitungszeitraums nur exemplarisch erfolgen konnte, wurde auf die Erstellung dieser Kartenserie verzichtet. Die ausgewerteten Daten flossen aber in der Erstellung von Potenzialkarten ein (siehe Pos. 14 & 15). Siehe hierzu auch Kapitel 3.2.
14	Aufbau Zonierungskarte Geothermische Nutzungen	<i>Ausweisung von Höffigkeits- und Potenzialgebieten</i>	Es wurden zwei separate Zonierungskarten für geschlossene und offene Systeme erarbeitet, die zugleich das zentrale Ergebnis der Studie WC-31 darstellen. Die Bewertung des Untergrundes erfolgte hierbei in einem generalisierten sowohl qualitativen als auch quantitativen Schema in Form verschiedener Potenzialklassen. Siehe hierzu Kapitel 3.2.
15	Aufbau Kartenserie zu Wärmeübertragungsleistung	<i>Karte der Bodentemperaturen Karte der Wärmeübertragungsleistungen</i>	Die Abbildung der Wärmeübertragungsleistung er-

			<p>folgte in Form der Wärmeleitfähigkeit. Siehe hierzu auch Kapitel 3.1.</p> <p>Aufgrund der geringen Datendichte wurden keine Bodentemperatur Karten erstellt.</p>
16	Vorbereitung und Teilnahme Abschlussworkshop	<i>Diskussion der Projektergebnisse</i>	<p>Der Abschlussworkshop fand am 27.03.2014 statt.</p> <p>Zusätzlich hierzu wurde das Projekt WC-31 im Rahmen der Veranstaltung „Wärmepumpen in Wien“ am 02.04.2014 öffentlich vorgestellt.</p>
17	Projektabschluss	<i>Datenübergabe Abschlussbericht</i>	<p>Die Übergabe der Ergebnisse in Form von GIS Datensätzen fand am 24.04.2014 statt. Siehe hierzu auch Kapitel 5.</p> <p>Der Abschlussbericht wurde in Rohform am 12.05.2014 übermittelt.</p>
18	Detailbetrachtung geothermisches Potenzial	<i>Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials in 5 Detailgebieten.</i>	<p>Auf Wunsch des Auftraggebers erfolgte eine quantitative Erhebung des geothermischen Potenzials (Erdwärmesonden und thermische Grundwassernutzung) in 5 Detailgebieten. Die detaillierte Potenzialabschätzung wurde am 23.04.2014 abgeschlossen.</p>

Ein wesentlicher Unterschied zur ursprünglich geplanten Vorgehensweise bestand in der Unterschätzung des Aufwands der Erhebung von Basisdaten bei den involvierten Magistratsabteilungen der Stadt Wien. Der ursprünglich avisierte Erhebungszeitraum von ca. 6 Wochen konnte nicht eingehalten. Die letzte Datenlieferung erfolgte erst spät in der zweiten Projektbearbeitungsphase im März 2014. Zudem konnte aufgrund des kurzen Bearbeitungszeitraums

zu vielen Themengebieten (z.B. geologische Bohrlochprofile oder Grundwasserkenndaten des Hydrografischen Diensts) nur Stichproben entnommen werden. Aus diesem Grund mussten die avisierten Kartenserien zu den hydrogeologischen und thermischen Voraussetzungen im Untergrund der Stadt Wien weitgehend aufgegeben werden.

Im Gegensatz hierzu fand auf Wunsch des Auftraggebers eine detaillierte Betrachtung geothermischer Anwendungspotenziale in 5 Gebieten (Liesing, Nordwestbahnhof, Nordbahnhof, Aspern und Donauefeld) statt. Hierbei wurde der für die flächendeckende Bewertung der oberflächennahen geothermischen Anwendungen ausgearbeitete Ansatz für die Betrachtung der Detailgebiete erweitert. Die durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse sind im Kapitel 4 beschrieben.

2 DATENGRUNDLAGE

Das folgende Kapitel beschreibt die zur Bewertung der oberflächennahen geothermischen Anwendungspotenziale verfügbare Datengrundlage sowie die Ergebnisse der Datenerhebungen. Hierbei wird zwischen Daten unterschieden, die (a) an der Geologischen Bundesanstalt (GBA) vorhanden waren, (b) von den involvierten Magistratsabteilungen der Stadt Wien zur Verfügung standen und (c) bei Fremdfirmen erhoben worden sind.

2.1 Daten der Geologischen Bundesanstalt

2.1.1 Hydrogeologische Grundlagen

Sämtliche zur Generalisierung des Untergrunds herangezogenen Kartengrundlagen basieren auf einer geologischen Ausgangskarte der Geologischen Bundesanstalt im Maßstab 1:25.000, welche im Jahr 2003 anhand von 40.000 Bohrprofilen der MA29 erstellt worden ist. Im Bereich der Flyschzone wurden mangels Bohrdaten frühere geologische Karten (Schnabel, 1997; Brix 1972) verwendet.

Auf Basis dieser Karte wurden folgende geologischen Aussagen abgeleitet:

- 1) Geologische Homogenbereiche des oberflächennahen Untergrunds im Wiener Landesgebiet.
- 2) Vereinfachte Hydrogeologische Karte des oberflächennahen Untergrunds.

Homogenbereiche wurden ausgehend von der geologischen Karte nach den Gesichtspunkten Lithologie, Mächtigkeit, Überlagerung, Überlagerungsmächtigkeit, Unterlagerung (Tertiär bis 30m Tiefe), und hydrogeologische Eigenschaften / Grundwasserführung definiert. Innerhalb eines Homogenbereiches ist die lithologische Homogenität insbesondere des unterlagernden Tertiärs nur generell gegeben. Einzelne Bohrprofile können dem synoptischen Bild widersprechen.

Lithologische Einheiten der geologischen Karte wurden nach hydrogeologischen Erfahrungen interpretiert und klassifiziert und bildeten die Grundlage der vereinfachten Hydrogeologischen Karte. Die Gesteinsausbildung innerhalb der an der Oberfläche anstehenden lithologischen

Einheiten ist statistisch sehr gut beschrieben. Die hydrogeologische Interpretation basiert nicht auf quantitativen Ergebnissen sondern qualitativen Abschätzungen (Lithologie, Ausdehnung der Gesteinseinheiten).

2.1.2 Thermische Gesteinsparameter

In Österreich liegen bislang kaum Kennwerte der thermischen Gesteinsparameter vor. Für eine Bewertung von Erdwärmesonde sind folgende Gesteinsparameter von Bedeutung:

- Effektive Wärmeleitfähigkeit λ [W/m/K] unter Berücksichtigung des Porenanteils und der Wassersättigung.
- Effektive volumetrische Wärmekapazität $c_p \times \rho$ [J/m³/K] unter Berücksichtigung des Porenanteils und der Wassersättigung.

Die zuverlässigste Quelle thermischer Gesteinsparameter stellen Thermal Response Tests dar (siehe hierzu auch Kapitel 2.2.2). Darüber hinaus können thermische Gesteinsparameter auch in-situ mittels Messungen an Bohrkernen oder an obertägig aufgeschlossenen Gesteinschichten durchgeführt werden. Messungen an obertägigen Aufschlüssen (z.B. Sandgruben) sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet, da die Porositäts- und Wassersättigungsverhältnisse an der Oberfläche generell Fällen kaum in die Tiefe extrapoliert werden können. Kennwerte aus den zuvor genannten Datenquellen werden in Rechenanleitungen, Normen und Regelblättern zusammengefasst. Im Deutschsprachigen Raum stehen hierfür die Regelblätter ÖWAV RB207 (Österreich), VDI4640 (Deutschland) und SIA384/6 (Schweiz) zur Verfügung.

Da im Bereich des Wiener Stadtgebiets bislang nur wenige Thermal Response Tests vorliegen, wurde auf bereits Literatursammlungen zurückgegriffen, die bereits an der Geologischen Bundesanstalt vorgelegen sind. Diese Kenndatensammlung beruht auf dem Österreichischen Regelblatt RB207 des Österreichischen Wasser- und Abfallverbands (ÖWAV) sowie auf der Richtlinie 4640 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) und weist für Gesteinstypen der ÖNORM B4401 Erwartungswerte sowie Bandbreiten der oben angeführten thermischen Gesteinsparameter aus.

2.2 **Daten der Magistratsabteilungen der Stadt Wien**

Im Rahmen des Projekts WC-31 wurden Daten der Magistratsabteilungen MA20, MA29 und MA45 der Stadt Wien zur Verfügung gestellt. Im Nachfolgenden wird die benutzte Datenlage gemäß ihrer thematischen Untergliederung vorgestellt.

2.2.1 Geologische Bohrprofile

Die geologischen Bohrprofile des Baugrunderkennungsplans der Magistratsabteilung MA29 wurden zur Prognose der thermischen Gesteinseigenschaften sowie zur Identifizierung potenzieller Aquifere herangezogen.

Im Rahmen des Projekts WC-31 konnten aufgrund des geringen Bearbeitungszeitraums lediglich 488 von insgesamt 54436 Bohrprofilen des Baugrunderkennungsplans ausgewertet werden. In

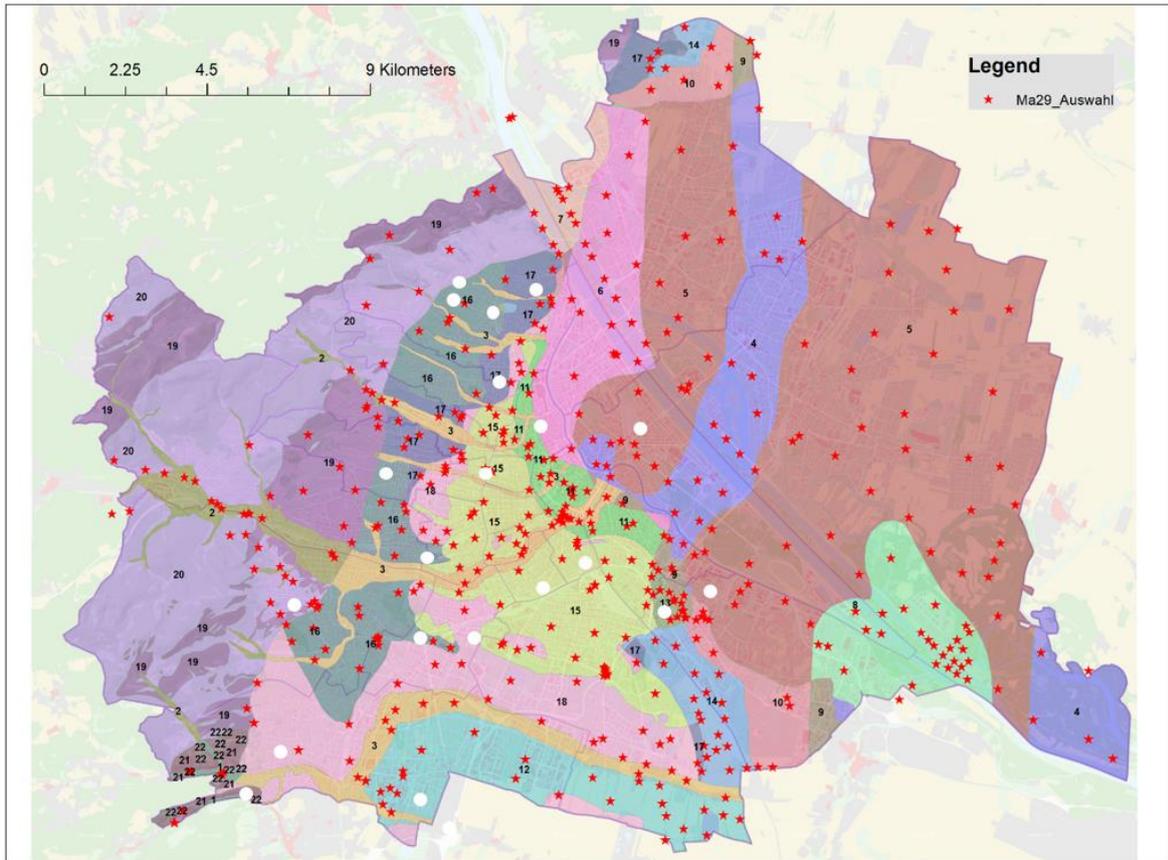


Abbildung 3: Lage der ausgewählten Bohrungen des Baugrunderkennungsnetzes (rote Sterne) sowie der erhobenen Thermal Response Tests (weiße Punkte).

Tiefenklasse	Häufigkeit	Prozentuell
10 m	10	2.0%
30 m	62	12.7%
50 m	103	21.1%
100 m	114	23.3%
200 m	86	17.6%
>200 m	114	23.3%

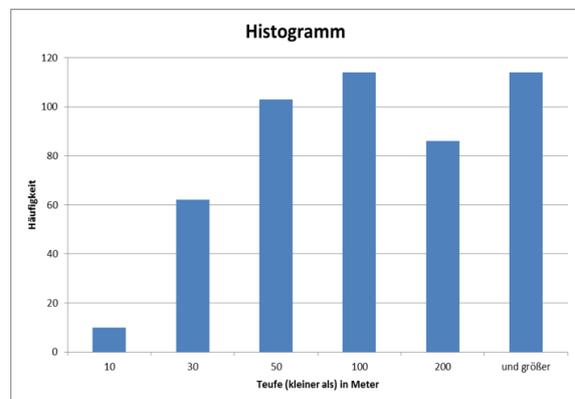


Abbildung 4: Verteilung der Tiefenklassen der Bohrungsauswahl MA29.

Wie anhand der Abbildung 4 zu erkennen ist, liegt der Schwerpunkt der Tiefe der ausgewählten Bohrungen in der Klasse bis 100 Meter unter Gelände sowie in der Klasse über 200 Meter. Die Verteilung der Lage der tiefen Bohrungen fokussiert sich jedoch auf die Gebiete der rezenten Donauschotter im linksufrigen Abschnitt der Donau (21. Bezirk und 22. Bezirk). Für

eine weitere Auswahl an Bohrungen der MA29 in zukünftigen Projekten gilt jedoch zu beachten, dass in den meisten geologischen Homogenbereichen kaum Tiefbohrungen mit Endteufen über 100 Meter unter Gelände vorliegen (vgl. hierzu Tabelle 2).

2.2.2 Thermal Response Tests

Die theoretischen, aus Literaturquellen hochgerechneten effektiven Wärmeleitfähigkeiten wurden zur Validierung mit TRT Daten verglichen. Der Thermal Response Test (TRT) ist ein Verfahren zur Bestimmung der Wärmeübertragungsleistung, bei dem eine fertig ausgebaute Erdwärmesonde mit einem definierten Wärmeeintrag über einen Zeitraum von meist 72 Stunden thermisch belastet und der Untergrund zu einer Impulsantwort („Thermal Response“) angeregt wird. Im Zuge der Durchführung von Thermal Response Tests können folgende Parameter in Form von Mittelwerten über die gesamte Sondenlänge ermittelt werden:

- Die effektive Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds: hierbei findet auch der Einfluss von zirkulierendem Grundwasser Berücksichtigung.
- Der thermische Widerstand der Sonden Verfüllung.
- Das ungestörte Temperaturprofil des Bodens bzw. die mittlere ungestörte Bodentemperatur.

Im Rahmen des Projekts WC-31 konnten effektive Wärmeleitfähigkeitswerte an insgesamt 20 Standorten im Wiener Stadtgebiet aufgestellt werden. Davon wurden 14 TRT Ergebnisse von der Magistratsabteilung MA29 zur Verfügung gestellt, 3 Messungen wurden von der Geologischen Bundesanstalt durchgeführt und 3 weitere Ergebnisse wurden bei Fremdfirmen erhoben. Ein vertikales Temperaturprofil vor dem TRT (Nullmessung) liegen bei 7 TRT Auswertungen vor.

Die erhobenen Thermal Response Tests decken das Gebiet der geologischen Homogenbereiche im rechtsufrigen Uferbereich der Donau einigermaßen gut ab. Für den linksufrigen Donaubereich (21. Bezirk und 22. Bezirk) konnten bislang keine TRT Messungen ermittelt werden.

Ein Vergleich der TRT-Ergebnisse mit den Prognosen der Wärmeleitfähigkeit der Bohrprofile konnte durchgeführt werden - eine Kalibrierung ist allerdings noch ausständig.

2.2.3 Allgemeine Hydrogeologische Informationen

Von der Magistratsabteilung MA45 – Hydrografischer Dienst wurden für die Bearbeitung des Projekts WC-31 folgende allgemeine hydrogeologische Informationen in Form GIS fähiger Daten übermittelt:

- i. Bewilligungsgrenze oberflächennaher geothermischer Nutzungen: Polygon
- ii. Zonierungsplan der Grundwasserleiter im rechtsufrigen Bereich der Donau gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Die Bewilligungsgrenze geothermischer Nutzungen (i.) wurde lediglich bei der Erstellung interner Karten und Abbildungen (siehe z.B. Abbildung 1) herangezogen. Auf eine Darstellung dieser Grenze auf den veröffentlichten Karten wurde vorerst verzichtet. Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass die Bewilligungsgrenze fast gänzlich mit der Ausbisslinie von Festgestein im Wiener Landesgebiet korreliert und innerhalb des bewilligungsfreien Gebiets kaum Nutzungen vorliegen.

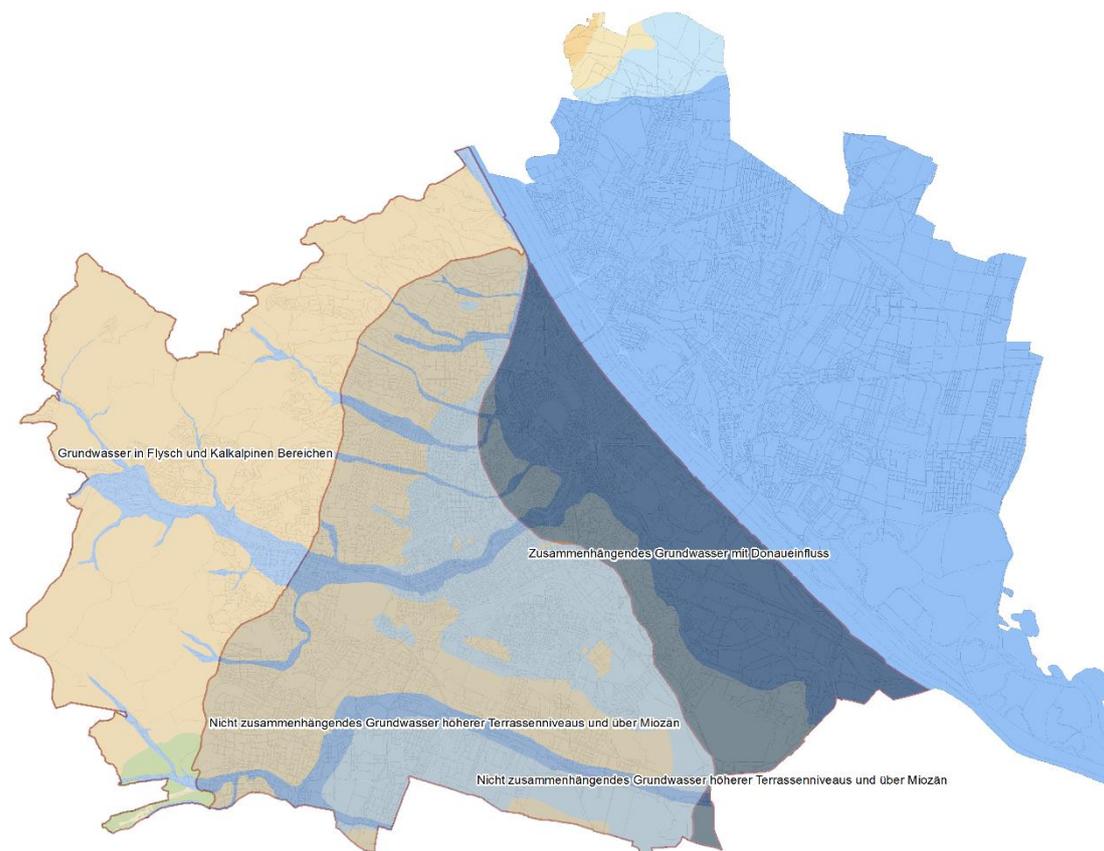


Abbildung 5: Gegenüberstellung des Grundwasserzonierungsplans mit den hydrogeologischen Homogenbereichen in Wien.

Der rechtsufrige Zonierungsplan der Grundwasservorkommen (ii.) wurde in der Bearbeitung des Projekts WC-31 im Vergleich zu den hydrogeologischen Karten der GBA als zu generalisierend bewertet und deshalb nicht in den Analysen berücksichtigt. Dieser Datensatz wurde aber abschließend zur Überprüfung der erzielten Potenzialkarten thermischer Grundwassernutzungen herangezogen.

2.2.4 Grundwasserhöhen

Die Grundwasserspiegel Höhen wurden zur Bewertung des Anwendungspotenzials der thermischen Grundwassernutzung für die Bemessung der durchflusswirksamen Mächtigkeit der Grundwasserkörper herangezogen. Im Wiener Landesgebiet stehen laut Auskunft des Hydrografischen Dienstes (Magistratsabteilung MA45) insgesamt 1171 Messpegel zur Verfügung (siehe hierzu auch Abbildung 6). Aufgrund des kurzen Bearbeitungszeitraums konnten von der MA45 jedoch nur Messdatenreihen von 142 Pegel in digitaler Form (MS Excel Arbeitsblätter) zur Verfügung gestellt werden. Die erhaltenen Datenreihen decken, soweit vollständig vorhanden, den Betrachtungszeitraum Jänner 2004 bis März 2014 ab. Ältere Messreihen wurden für die Bewertung des thermischen Nutzungspotenzials nicht benutzt. Die Flurabstandsmessungen fanden in der Regel wöchentlich statt. Einige der erhaltenen Messdatenreihen wiesen zudem eine höhere Messfrequenz auf. Es liegen jedoch nicht zu allen Pegel vollständige Datenreihen für den Zeitraum 2004 bis 2014 vor.

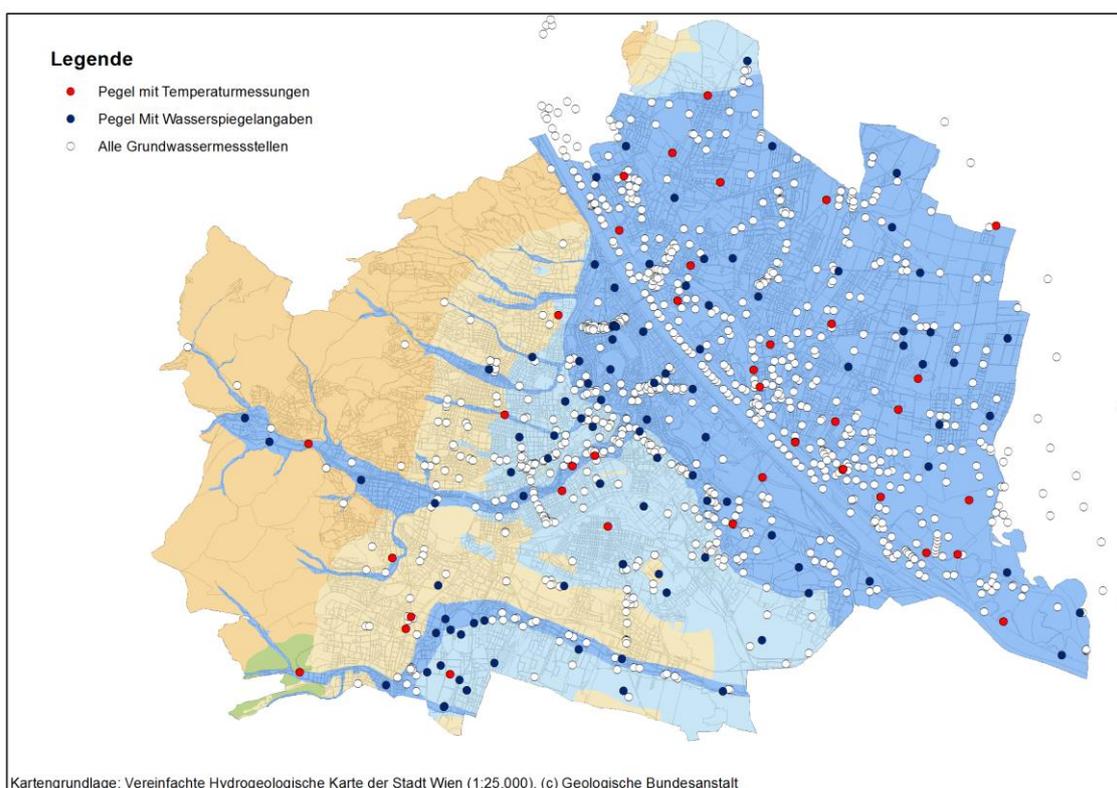


Abbildung 6: Zur Verfügung gestellte Datengrundlage des Hydrografischen Diensts.

Die Grundwasserhöhen wurden separiert in Form von Flurabständen und Messpunkthöhen der Pegel von der MA45 übergeben. Von den 142 erhaltenen Pegeln wiesen jedoch nur 74 Pegel dokumentierte Messpunkthöhe auf und konnten somit vollständig ausgewertet werden.

2.2.5 Grundwasser Temperaturen

Der Hydrografische Dienst der Stadt Wien (MA45) sammelt auch Messdatenreihen zur Grundwassertemperatur. Im Rahmen des Projekts WC-31 wurden Messdatenreihen von 39 Pegeln der Stadt Wien ausgewertet. Die Daten wurden in Form von Profilmessungen (verschiedene Messtiefen innerhalb des Grundwasserkörpers sowie Temperatur an der Sohle des Pegels) in teilweise wöchentlichen und teilweise monatlichen Intervallen von der MA45 zur Verfügung gestellt. Hierbei wurden wiederum Messdatenreihen aus dem Zeitraum 2004 bis 2014 ausgewertet. Die Grundwassertemperatur wurde ebenfalls zur Bemessung des Anwendungspotenzials der thermischen Grundwassernutzung herangezogen. Da aufgrund des kurzen Datenerhebungszeitraums nur 39 Pegel aufbereitet werden konnten, musste wegen der geringen Datendichte auf die Erstellung von Grundwassertemperaturkarten verzichtet werden (vgl. hierzu Abbildung 6).

2.2.6 Nutzerdaten

Von der Magistratsabteilung MA45 wurden der Geologischen Bundesanstalt Metadaten zu allen derzeit 1839 aktiven geothermischen Nutzungen in Wien digital übermittelt. Für die Bewertung des geothermischen Anwendungspotenzials waren folgende Parameter von Bedeutung:

- Wasserbuchzahl, Postadresse und Konsenswerber der Nutzungen: Identifizierung gleicher Nutzer (z.B. unterschiedliche Einreichung der Grundwasser Entnahme und Grundwasser Injektion).
- Lagekoordinaten der Nutzungen für die räumliche Verortung der Nutzungen.
- Anlagentyp, wobei folgende Nutzungstypen unterschieden wurden: (1) Erdwärmepumpen (geschlossenes System), (2) Wasser – Wasser Wärmepumpen (thermische Grundwassernutzung), (3) Kühlwasseranlage (thermische Grundwassernutzung zu Kühlzwecken), (4) Wärmenutzung durch Bauteilaktivierung (geschlossenes System).

In einem zweiten Bearbeitungsschritt wurden von der MA45 84 Stammbblätter von zuvor durch die Geologische Bundesanstalt ausgewählten relevanten thermischen Grundwassernutzungen in elektronischer Form übermittelt. Diese Stammbblätter enthielten zusätzliche Angaben zu genehmigten Konsensmengen sowie allgemeine Erläuterungen. Die Auswahl der Stammbblätter konzentrierte sich im Rahmen des Projekts auf die 5 Detailgebiete. Aus den Stammbblättern wurden maximale thermische Anlagenleistungen unter Annahme einer Temperaturspreizung von 5°C abgeleitet und zur Beurteilung des bereits genutzten Wärmeinhalts in den Detailgebieten herangezogen (siehe hierzu auch Kapitel 4).

2.3 **Externe Daten**

Der Großteil der benötigten Daten konnte durch die involvierten Magistratsabteilungen der Stadt Wien und durch die Geologische Bundesanstalt abgedeckt werden. Zur Beantwortung von Spezialaspekten musste jedoch auf Daten von Fremdfirmen zurückgegriffen werden.

2.3.1 Wiener Gewässermanagement Management Gesellschaft mbH

Von der Wiener Gewässermanagement Gesellschaft mbH wurden folgende Daten zu den Grundwasserverhältnissen im Detailgebiet Liesing in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (WGM 2013):

- Oberkante der Wienerwaldschotter (Top Aquifer)
- Mächtigkeit der Wienerwaldschotter
- Grundwasser Isohypsen, berechnet aus Grundwasserbeobachtungen im Bohrbestand der MA29 (Baugrunderkaster).

Besonderer Dank sei an dieser Stelle Fr. Dr. Sabine Grupe für die konstruktive Zusammenarbeit ausgesprochen.

2.3.2 Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)

Von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik wurden zur Abschätzung der Bodentemperaturen an der Erdoberfläche (Jahresmittelwerte) Messdaten aus Beobachtungsstationen in und um Wien im Rahmen von WC-31 angekauft. Die ausgewerteten Bodentemperaturen können in eine Bewertung des Anwendungspotenzials miteinfließen oder als Randbedingung für numerische Simulationen dienen.

Tabelle 3 und Tabelle 4 sowie Abbildung 7 geben einen Überblick über die verfügbaren Bodentemperaturstationen, die Messtiefen und den Beginn der Messung.

Tabelle 3: Übersicht der Messstationen in Wien und Umgebung mit Standortangaben.

Stat.Nr.	Name	X	Y	Seehöhe
4115	Wien/Stammersdorf	16.40556	48.30583	191
5802	Wien Jubilaeumswarte	16.26556	48.22111	450
5805	Mariabrunn	16.22944	48.20694	225
5904	Wien Hohe Warte	16.35639	48.24861	198
5917	Wien/Unterlaa	16.41944	48.12500	207
5935	Donaufeld	16.43333	48.25750	161
5972	Gross Enzersdorf	16.55917	48.19972	154

Tabelle 4: Messtiefe der Temperatursensoren pro Station.

Stat.Nr.	Name										Beginn der Messung
		5cm	10cm	15cm	20cm	30cm	40cm	50cm	100cm	200cm	
4115	Wien/Stammersdorf		j		j			j			01.12.2008

5802	Wien Jubilaeumswarte		j		j			j			01.09.2009
5805	Mariabrunn		j		j			j			01.02.1997
5904	Wien Hohe Warte	j	j	j	j	j		j	j	j	01.01.1993
5917	Wien/Unterlaa		j		j			j			01.02.1996
5935	Donaufeld		j		j						01.09.1996
5972	Gross Enzersdorf		j		j			j			01.01.1993

Alle Daten wurden freundlicherweise von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur wissenschaftlichen Verarbeitung für Forschung und Lehre in Form von Tagesmittelwerten zur Verfügung gestellt.

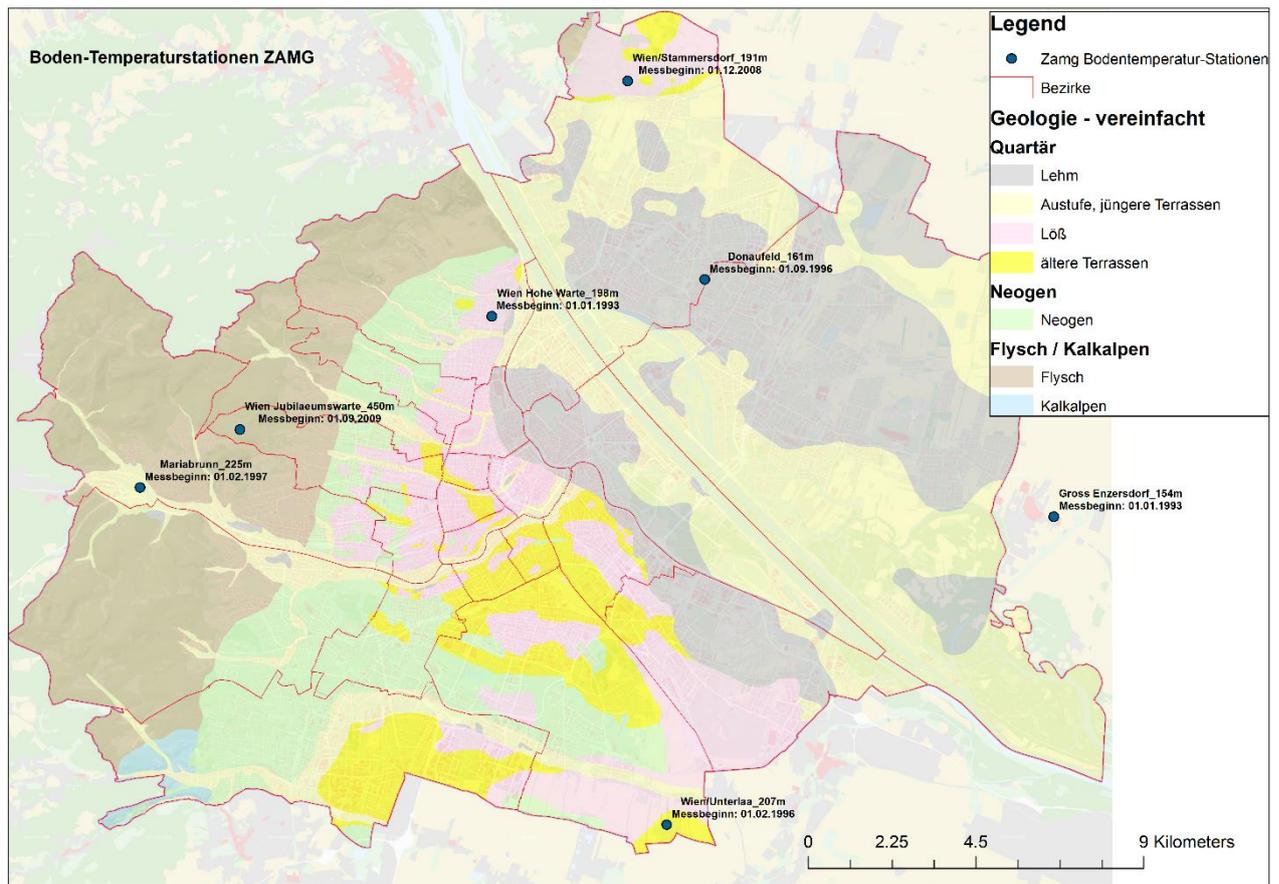


Abbildung 7: Bodentemperaturmessstationen auf vereinfachter geologischer Karte mit Angaben der Meereshöhe und des Beginn der Messdatenerhebung.

Die ausgewerteten Bodentemperaturen wurden schließlich in der Bewertung des Anwendungspotenzials geschlossener Systeme aus zeitlichen Gründen nicht berücksichtigt. Die Daten wurden vollständigheitshalber ausgewertet und im **Anhang 1** zu finden. Die Daten sind bei einer künftigen Potentialabschätzung zur Untergrundtemperaturabschätzung wertvoll.

2.3.3 Pöyry Energy GmbH

Von der Firma Pöyry Energy GmbH wurden für die Bewertung der Anwendungspotenziale thermischer Grundwassernutzung im Bereich des 2. Bezirks und 20. Bezirks folgende GIS fähige Rasterdatensätze angekauft:

- Oberfläche des Grundwasser Stauers
- Grundwasserspiegeloberfläche bei Mittelwasserstand (MGW), Niedrigwasserstand (NGW) und Hochwasserstand (HGW). Die Bemessung der Wasserstände erfolgte für ein Regeljahr durch Interpolation zeitnaher oder synchroner Messungen.

Nachfolgende Abbildung 8 zeigt die Umriss des abgedeckten Areal:

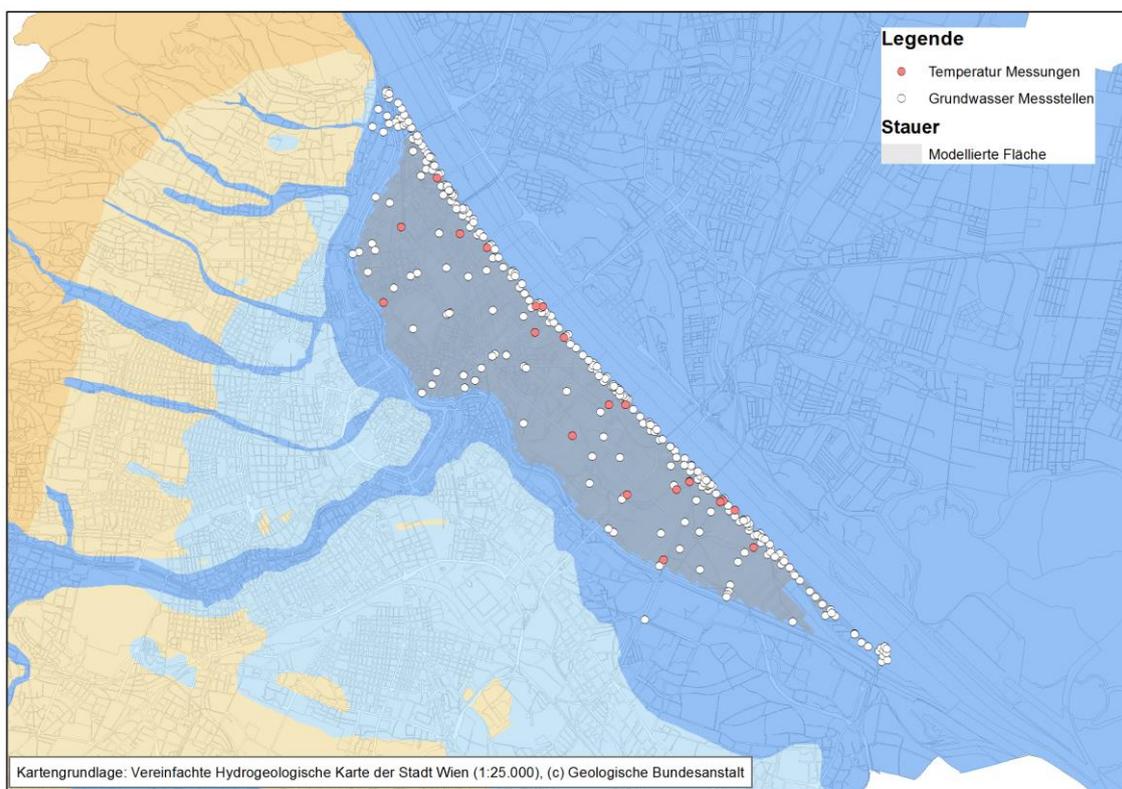


Abbildung 8: Lage der vorhandenen und zur Verfügung gestellten hydrografischen Daten der Firmen Pöyry Energy GmbH und Verbund Hydropower AG.

2.3.4 Verbund Hydropower

Ergänzend zu den hydrogeologischen Daten der Firma Pöyry wurden von der Verbund Hydropower AG Temperaturmessreihen von 20 Grundwasser Messstellen für den Zeitraum 2003 bis 2013 zur Verfügung gestellt. Die Lage der Temperaturmesspegel ist der Abbildung 8 zu entnehmen.

2.3.5 Bohrfirmen sowie technische Büros

Insgesamt 10 in Wien operierende Bohrfirmen und Ingenieurbüros wurden bezüglich bekannter Thermal Response Tests angefragt. Von den Firmen Geoteam, Hagleitner Bohrtechnik, und Geomatrix wurden auch Ergebnisse geliefert. Hierbei handelte es sich jedoch teilweise um bereits erhobene Tests. Die Bohrfirmen Forster und Mayer und das ZT-Büro Weixelberger waren ebenfalls sehr hilfreich. Zumindest 3 neue TRT-Ergebnisse und eine Referenzliste der installierten Sonden der Firma Hagleitner von 2006 – 2012 (358 Sonden mit gesamt 33 km installierten Sondenmeter) konnten dadurch erhoben werden.

2.4 Zusammenfassung und Bewertung

Die im Rahmen des Projekts WC-31 durchgeführte Datenerhebung konnte größtenteils nur Stichprobenartig durchgeführt werden. Dennoch war sie in der Lage einen sehr guten Überblick über den Datenbestand in Wien zu vermitteln und erlaubte eine flächendeckende Erstbeurteilung der geothermischen Anwendungspotenziale. Eine Verbesserung in der Aussagekraft der erstellten Potenzialkarten ließe sich durch weiterführende Erhebungen hinsichtlich folgender Aspekte erzielen:

- Geologischer Bohrprofile: Verbesserung der Wärmeleitfähigkeitsmodelle
- Der Durchführung von Thermal Response Tests
- Der Aufbereitung thermischer Grundwasserdaten
- Der Zusammenfassung und Aufbereitung von kf-Werten
- Der fortführenden Erhebung und Auswertung von Stammlätter des Wasserbuchs

Aufgrund der sehr umfassend vorhandenen, jedoch zeitaufwendigen Aufbereitung des Datenbestands wäre ein längerfristiges, modular aufgebautes Datenerhebungsprogramm von Vorteil (siehe hierzu auch Kapitel 6)

3 FLÄCHENDECKENDE POTENZIALKARTEN

Das nachfolgende Kapitel beschreibt die im Rahmen von WC-31 erstellten flächendeckenden Potenzialkarten oberflächennaher geothermischer Nutzungen. Wie bereits in Kapitel 1.3 angeführt worden ist, konnten einige der avisierten Kartenserien (Pos. 11 bis Pos. 13 des Angebots der Geologischen Bundesanstalt) aufgrund der zur Verfügung gestandenen Datenlage nicht realisiert werden. Die Erarbeitung der hydrogeologischen Kartenserien (z.B. Grundwassertemperatur etc.) sowie der Kartenserie der bereits vorhandenen Nutzungen könnten aber bei einer Fortsetzung der systematischen Datenerhebung in einem späteren Bearbeitungsmodul nachträglich abgeschlossen werden.

Im Rahmen von WC-31 wurden Zonierungskarten für jene beiden Nutzungsformen erarbeitet, die als am meisten relevant angesehen worden sind. Diese Systeme umfassen so genannte Erdwärmepumpen Anwendungen (geothermische Nutzungen mittels Erdwärmesonden) sowie

die thermischer Nutzung des obersten Grundwasserhorizonts. Als weiteren Anwendungsfall wurde auch die Nutzung erdberührter Fundamente (vorrangig Energiepfähle) in der Bewertung des Anwendungspotenzials für Erdwärmepumpen berücksichtigt.

Das nachfolgende Kapitel beschreibt die gewählten Bewertungsansätze sowie die daraus erzielten Ergebnisse.

3.1 Geschlossene Wärmetauschersysteme (Erdwärmepumpen)

3.1.1 Einleitung

Die Leistung von geschlossenen Erdwärmesystemen ist einerseits von untergrundspezifischen (Wärmeleitfähigkeit) und betriebsspezifischen Parametern (Jahresbetriebsstunden, Betriebsweise) abhängig. Die betriebsspezifischen Parameter sind vom Gebäude abhängig und nicht standortspezifisch. Die geogenen Parameter sind standortabhängig, wobei die effektive Wärmeleitfähigkeit vor allem von Porosität bzw. Klüftigkeit sowie vom Wassersättigungsgrad abhängt und zudem von advektiven Grundwasserfließprozessen beeinflusst wird.

Im Folgenden wird aus den lithologischen Informationen der Bohrdaten die konduktive Wärmeleitfähigkeit berechnet, die unabhängig von advektiven Grundwasserprozessen ist und als Basis für Potenzialkarten verwendet werden kann. Die Ergebnisse werden in Kartenform dargestellt.

Bei einseitiger Betriebsweise (ausschließliches Heizen und Kühlen) bewirken hohe Wärmeleitfähigkeiten und Grundwasserfluss gute Wärmeübertragungsleistungen. Im wechselseitigen Betrieb (saisonale Wärmespeicherung, Kühl- und Heizlast) kann eine zu hohe Wärmeleitfähigkeit oder fließendes Grundwasser auch von Nachteil sein, da die gespeicherte Wärme nicht wieder „eingefangen“ werden kann sondern verschleppt wird.

Das Ziel der flächendeckenden Potenzialkarten der geschlossenen Wärmetauschersysteme (Erdwärmepumpen) bestand in der Abbildung der geogenen Standortvoraussetzungen für verschiedene Tiefenbereiche. Da die Wärmeübertragungsleistung einer Erdwärmesonde (Watt pro Laufmeter) sowohl von den geogenen Standortvoraussetzungen und von der Betriebsweise abhängig ist, werden die geogenen Standortvoraussetzungen durch den Parameter „Wärmeleitfähigkeit“ angenähert. Die Potenzialkarten der Wärmeleitfähigkeiten berücksichtigen den geologischen Aufbau des Untergrundes sowie die Wassersättigung. Der Einfluss von zirkulierendem Grundwasser musste jedoch vorerst ausgeklammert bleiben. Die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes wurde für 3 verschiedene Tiefenbereiche berechnet, um verschiedene Nutzungstiefen unterscheiden zu können. Hierbei soll der Tiefenbereich bis 30 Meter unter Gelände seichte Erdwärmesonden inklusive erdberührte Gebäudeelemente (z.B. Energiepfähle) behandeln. Der Tiefenbereich bis 100 Meter repräsentiert den gebräuchlichen Tiefenbereich. Der Tiefenbereich von größer 200 Meter repräsentiert tiefe Erdwärmesonden und soll zugleich als Brücke zur Mitteltiefen Geothermie (siehe hierzu auch Kapitel 1.2) bilden.

3.1.2 Vorgehensweise und Methodik

Der Workflow ist in Abbildung 9 dargestellt. Die Basis bilden die 488 Bohrungen aus dem Baugrunderkennungskataster, die aus insgesamt 20788 primären lithologischen Schichten bestehen. Diese Schichten wurden zu einer Look-Up Tabelle (siehe Anhang 2) in 256 unterschiedlichen Einheiten klassifiziert und mit Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten aus der Literatur (siehe hierzu auch Kapitel 2.1.2) verknüpft. Für diesen Erstentwurf der Wärmeleitfähigkeitskarten wurden die Schichtklassen auf 18 lithologische Hauptgruppen reduziert (siehe Anhang 2).

In einem nachfolgenden Arbeitsschritt wurden Prognosemodelle der Parameter Wärmeleitfähigkeit und volumetrische Wärmekapazität für jeweils trockene und vollkommen wassergesättigte Gesteinskörper den lithologischen Hauptgruppen zugeordnet (siehe auch Anhang 2). Die Verarbeitung der Daten wurde in Matlab programmiert. Dabei wird die LookUp Tabelle und die gewünschten Tiefenbereiche von einem Excel File eingelesen, wonach die Zuteilung und die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit erfolgt. Diese wird über ein gewichtetes Mittel nach Schichtmächtigkeiten für jede Bohrung bis zu den angegebenen Tiefenbereichen errechnet und anschließend wieder in Tabellenform ausgegeben. Dadurch ist es möglich, die Ergebnisse bei Änderung der Eingabedaten (z.B. Verbesserung der Wärmeleitfähigkeiten) laufend ohne großem Aufwand zu aktualisieren. Auch eine Erweiterung durch Miteingliederung weiterer Bohrprofile ist hierdurch ohne größeren Aufwand möglich.

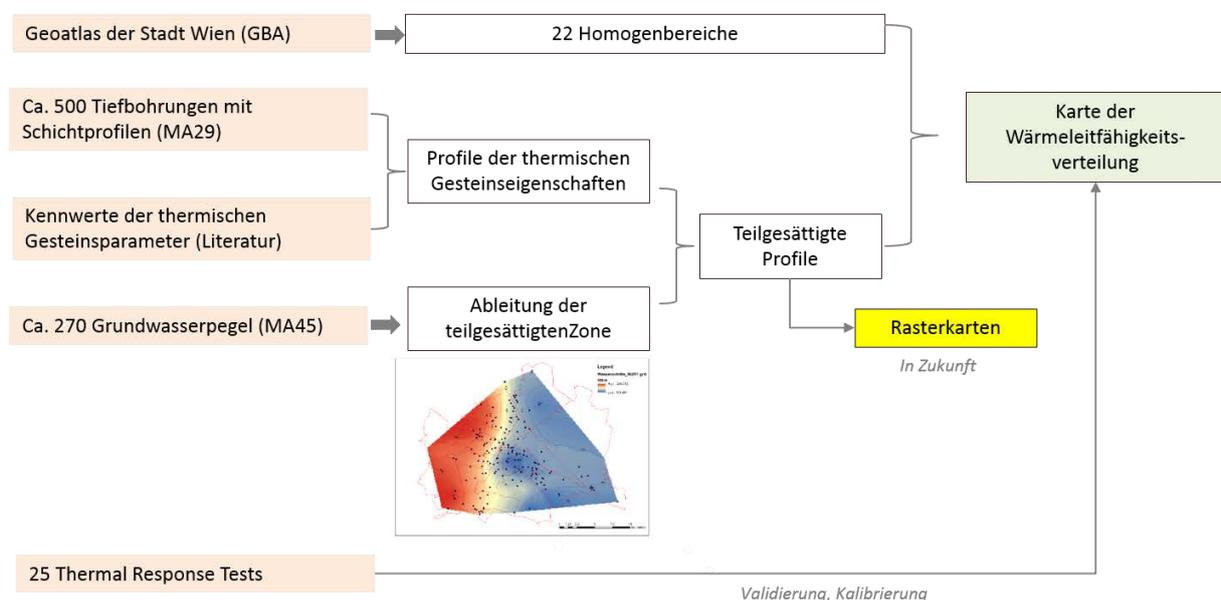


Abbildung 9: Workflow zur Erstellung von Wärmeleitfähigkeitskarten.

In einem weiteren Schritt wurden die vorliegenden lithologischen Bohrprofile in Wärmeleitfähigkeits- und Wärmekapazitätsprofile umgewandelt. Hierbei wurden zwei unterschiedliche Modelle benutzt:

- Profile der thermischen Gesteinsparameter ohne Berücksichtigung der ungesättigten Zone (Annahme der gesamte Untergrund ist vollkommen wassergesättigt).
- Profile unter Berücksichtigung der ungesättigten Zone (teilgesättigtes Profil).

Die Vorgehensweise zur Bemessung der teilgesättigten Profile ist dem Kapitel 3.1.3 zu entnehmen.

In einem darauf folgenden Arbeitsschritt wurden die Daten zu flächendeckenden Wärmeleitfähigkeitsmodellen für den Bereich der Stadt Wien aggregiert.

Dies erfolgte unter Zuhilfenahme von zwei unterschiedlichen Ansätzen:

- 1) Statistische Mittelung der Wärmeleitfähigkeitsprofile für die geologischen Homogenbereiche in Wien für verschiedene Tiefenbereiche.
- 2) Raster Interpolation der für die verschiedenen Tiefenbereiche gemittelten Wärmeleitfähigkeiten ohne Berücksichtigung geologischer Homogenbereiche.

Ad 1): Statistische Mittelung für geologische Homogenbereiche

In der Eingangsphase des Projekts WC-31 wurden aus bestehenden geologischen Karten der GBA (vgl. hierzu Kapitel 2.1.1) 22 geologische Homogenbereiche für das Wiener Landesgebiet abgeleitet. Die Einteilung der geologischen Homogenbereiche erfolgte auf Grundlage der zu erwartenden lithologisch- stratigrafischen Abfolge für den Tiefenbereich bis maximal 300 Meter unter Gelände.

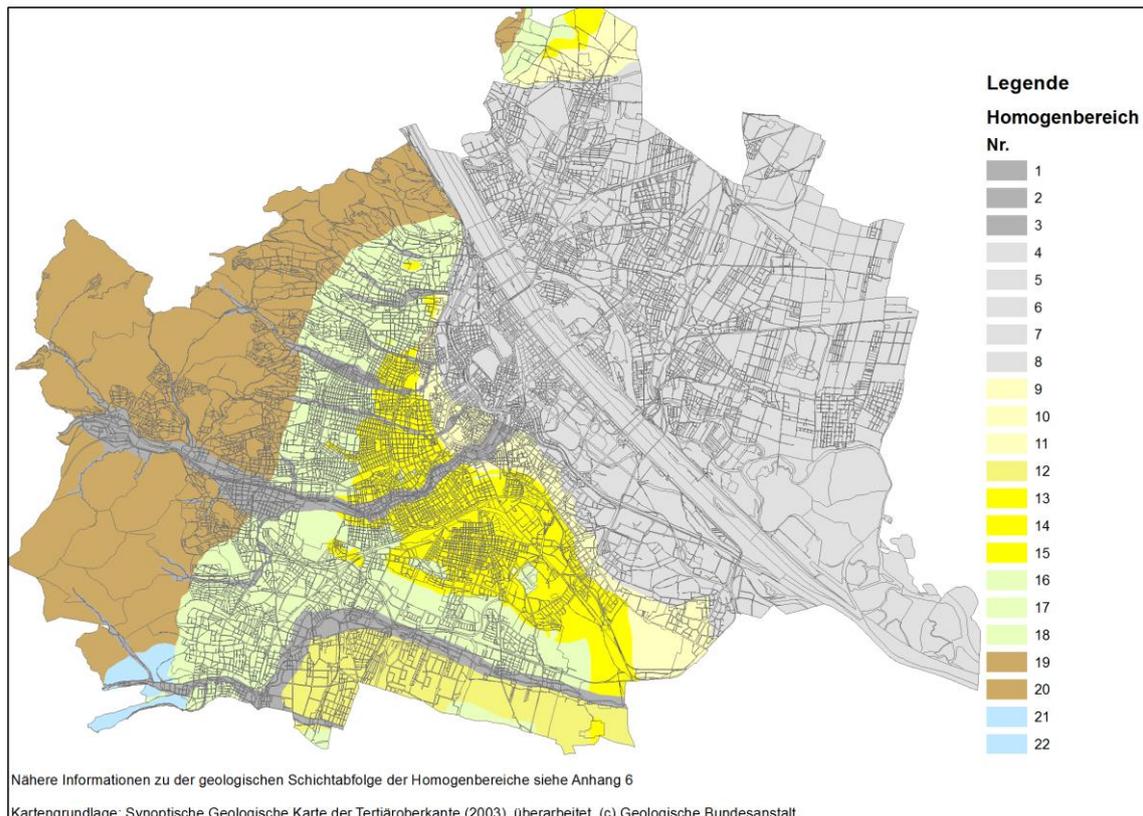


Abbildung 10: **Übersichtskarte der geologischen Homogenbereiche.** Die Erläuterungen zu den Homogenbereichen sind dem Anhang 6 zu entnehmen.

In einem nächsten Arbeitsschritt wurden die Wärmeleitfähigkeitsprofile für den jeweiligen Homogenbereich gemittelt. Diese Mittelung erfolgte sowohl für die Modelldaten unter Berücksichtigung der ungesättigten Zone sowie für Modelldaten bei Vernachlässigung der ungesättigten Zone. Die statistische Auswertung dieser Mittelungen für die geologischen Homogenbereiche kann dem Anhang 3 entnommen werden. Dieser Ansatz wurde für die Erstellung der Ergebnis Datenlayer benutzt.

Ad 2): Raster Interpolation der gemittelten Bohrprofile

Zu Vergleichszwecken wurde vorerst auch ein alternativer Ansatz zur räumlichen Mittelung der Wärmeleitfähigkeitsmodelle benutzt. Dieser Ansatz beruht auf der Interpolation auf ein regelmäßiges Raster auf Grundlage der Wärmeleitfähigkeitsprofile für die zuvor angeführten drei Tiefenbereiche. Die Raster Interpolation erfolgte mittels der Kriging Methode für ein 100 x 100 Meter Raster mit Hilfe des Software Programms Surfer (Fa. Golden Software). Die so erstellten Raster wurden anschließend in ArcGIS importiert und kartographisch dargestellt.

Der Vorteil der Raster Interpolation liegt in der Möglichkeit lokale Inhomogenitäten zu berücksichtigen und somit scharfe Potenzialgrenzen zwischen den jeweiligen Homogenbereichen vermeiden zu können. Leider erlaubt der derzeitige Datenstand noch nicht die Erstellung eines

flächendeckenden Rasters. Aus diesem Grund wurde diese Methode nicht für die Erstellung der Daten Layer herangezogen. Die hiermit erzielten Ergebnisse werden trotzdem in Kapitel 3.1.4 mit den Ergebnissen aus der statistischen Mittelung für die geologischen Homogenbereiche verglichen.

3.1.3 Ansatz zur Berücksichtigung der ungesättigten Zone

Vor allem in den lockeren Sedimentgesteinen spielt der Wassergehalt im Porenraum eine entscheidende Rolle für die Wärmeleitung. In der Hydrogeologie wird zwischen ungesättigter und gesättigter Zone unterschieden. In der gesättigten Zone ist der Porenraum vollkommen mit Wasser gefüllt, wobei die Poren/Klüfte der ungesättigten Zone auch Luft enthalten. Die Wärmeleitfähigkeit ist abhängig vom Volumenverhältnis zwischen festem Gestein (2-4 W/m/K), Wasser (~0.6 W/m/K) und Luft (~0.02 W/m/K).

In 273 der verarbeiteten 488 Bohrprofile sind Wasserzutritte dokumentiert, die als ersten Anhaltspunkt für die Beurteilung der teilgesättigten Zone dienen. Hierbei wurde die Tiefe des jeweils seichtesten Wasserzutritts als Basis der teilgesättigten Zone angenommen.

Abbildung 11 zeigt die Rasterinterpolation mittels Kriging Methode der Absoluthöhen des ersten Wasserzutritts und der Höhen der Geländeoberkante, die aus den Bohrprofilen entnommen worden sind. Darunter ist die daraus abgeleitete Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone dargestellt.

Zu Testzwecken und Veranschaulichen der Workflows wurden ebenfalls Wärmeleitfähigkeitskarten mit Berücksichtigung der ungesättigten Zone erstellt, wobei deren Wärmeleitfähigkeitswert vorerst als einfacher Mittelwert von trockener und gesättigter Wärmeleitfähigkeit berechnet wurde:

$$\lambda_{\text{ungesättigt}} = \frac{\lambda_{\text{trocken}} + \lambda_{\text{gesättigt}}}{2} \quad \text{Gleichung 3.1}$$

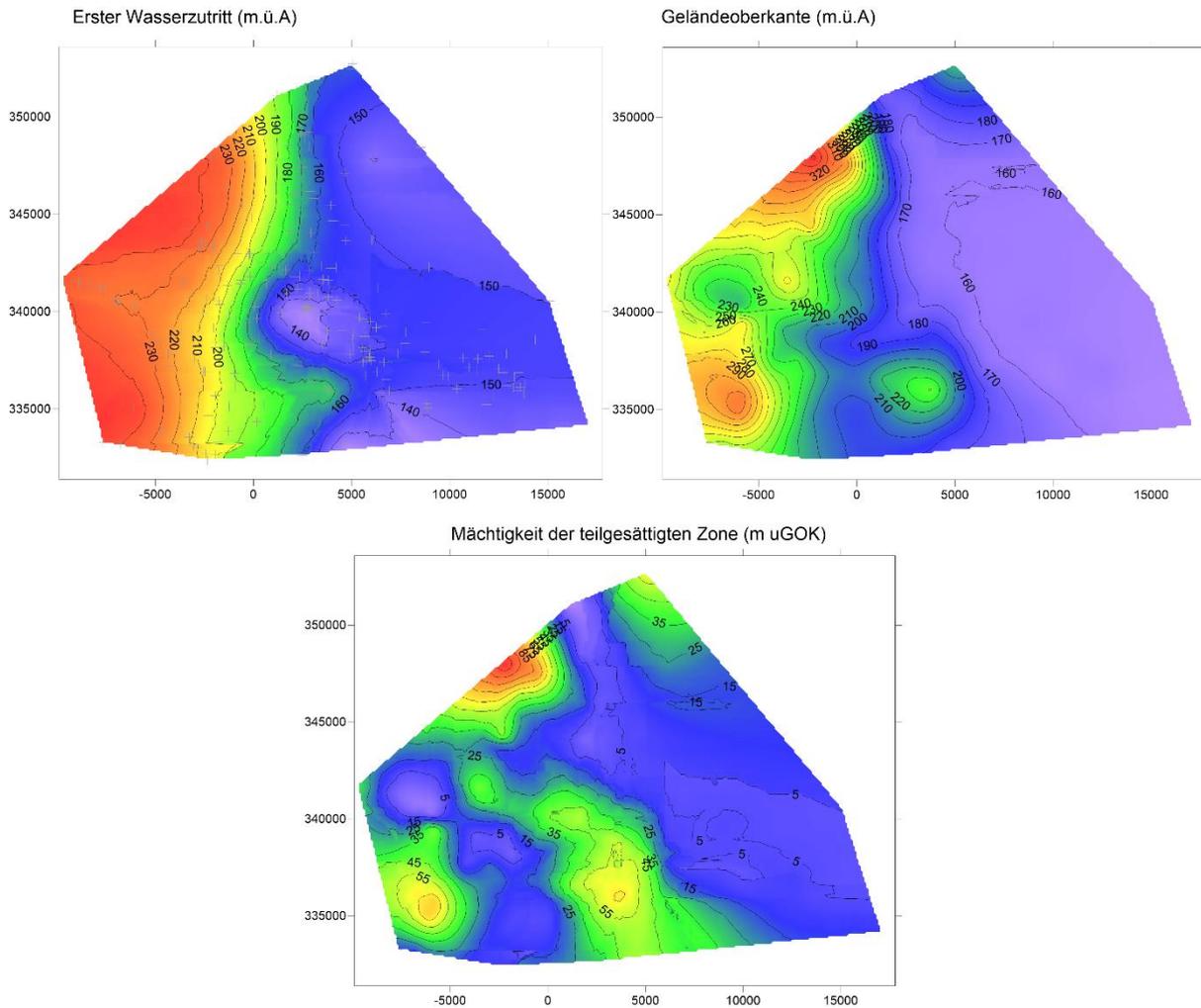


Abbildung 11: Aus Bohrdaten interpoliert: Erster Wasserzutritt, Geländeoberkante und Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone.

Die in Abbildung 11 zu beobachteten Trends der Mächtigkeit der ungesättigten Zone erscheinen durchaus plausibel. Jedoch erfordert es einer weiteren Prüfung der Daten, bzw. einen Vergleich mit Pegeldaten um eine ausreichend hohe Qualität für eine Veröffentlichung von Wärmeleitfähigkeitsmodellen auf Grundlage dieses Ansatzes zu gewährleisten.

3.1.4 Ergebnisse

In dem nun folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der beiden Skalierungsansätze zur Erarbeitung der flächendeckenden Potenzialkarten (Mittelung für Homogenbereiche versus Rasterinterpolation) für die Tiefenbereiche (a) bis 30 Meter (Abbildung 12), (b) bis 100 Meter (Abbildung 13) und (c) Tiefenbereich bis über 200 Meter (Abbildung 14) unter Annahme vollkommen wassergesättigter Bohrprofile miteinander verglichen. Anschließend erfolgt der Methodenvergleich für teilgesättigte Profile bis 100 Meter unter Gelände (Abbildung 15).

Für den Tiefenbereich bis 30 Meter unter Gelände ergibt die Mittelung der Wärmeleitfähigkeiten für geologische Homogenbereiche unter der Annahme vollkommen wassergesättigter Bohrprofile eine zentrale, etwa Nord – Süd verlaufende Zone reduzierter Wärmeleitfähigkeiten

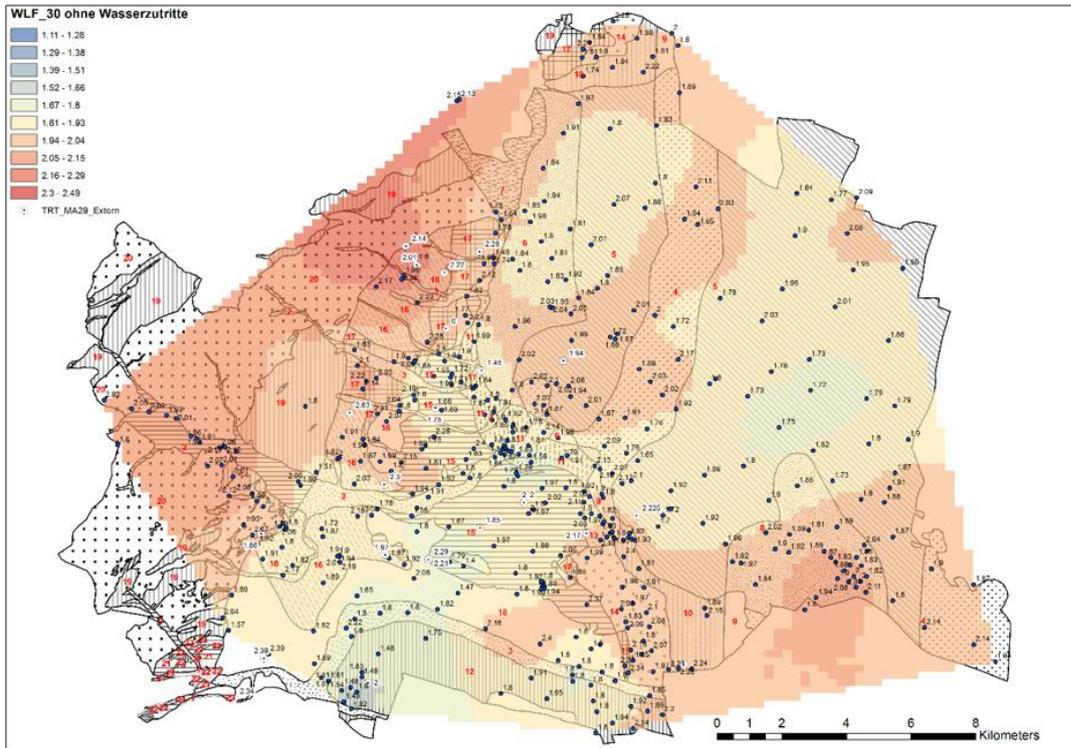
in der Klasse 1.8 bis 1.9 W/m/K. Erhöhte Wärmeleitfähigkeiten mit Klassenwerten über 2.0 W/m/K sind teilweise in den Gebieten mit anstehenden Festgestein (Wienerwald) sowie in Zonen mit ausgeprägten Schotterkörpern oder Konglomeraten zu beobachten. Das Ergebnis der Rasterinterpolation deckt aufgrund des Mangels an Bohrprofilen nicht das gesamte Landesgebiet ab. Das errechnete Raster weist erwartungsgemäß eine gegenüber der Mittelung stärker ausgeprägte Gliederung auf. So lassen sich vor Allem in den großen Arealen mit einem erwarteten homogenen geologischen Aufbau im 21. Bezirk und 22. Bezirk lokale Strukturen erkennen. In diesem Zusammenhang ist eine Zone mit signifikant reduzierten Wärmeleitfähigkeiten im Bereich Kagran bis Aspern zu erwähnen, die auf eine Reduktion gut leitender Schichten (Schotter, Konglomerate) zurückgeführt werden kann (vgl. Abbildung 12, Teil -b-). Eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden gewählten Ansätzen ist im Bereich der zuvor angesprochenen zentralen, etwa Nord – Süd verlaufenden Zone sowie im Bereich des Wienerwalds bzw. der westlichen Außenbezirke zu beobachten. Es sei an dieser Stelle auch ergänzend erwähnt, dass die Raster Interpolation ein gegenüber der Mittelung für Homogenbereiche größeres Wertespektrum aufweist, d.h. der glättende Einfluss der Mittelwertberechnung ist bei der Raster Interpolation weniger stark ausgeprägt.

Der Tiefenbereich bis 100 Meter (Abbildung 13) stellt den typischen Anwendungsbereich der Erdwärmesonden (Erdwärmepumpenanlagen) dar. Im Tiefenintervall zwischen 100 Meter und 200 Meter liegen auch die meisten Vergleichswerte aus Thermal Response Test Messungen vor. Die für den Tiefenbereich bis 30 Meter beobachtete Nord – Süd verlaufende Zone reduzierter Wärmeleitfähigkeiten ist auch in diesem Tiefenintervall zu beobachten, wenngleich sie sich auch nicht mehr bis zum nördlichen Rand der Stadt Wien fortsetzt. In diesem etwa zwischen dem 9. Bezirk und dem 23. Bezirk verlaufenden Zone wurden Wärmeleitfähigkeiten von bis zu weniger als 1.6 W/m/K ermittelt, die mit einer Dominanz toniger und mergeliger Schichten im Untergrund in Verbindung gebracht werden können. Dem gegenüber stehen Areale mit erhöhten Wärmeleitfähigkeiten, die durch Schotterkörper und Konglomerate sowie durch anstehende Festgesteine in den westlichen Außenbezirken in Verbindung gebracht werden können.

Für den Tiefenbereich bis über 200 Meter unter Gelände (Abbildung 14) standen nur noch wenige Bohrprofile zur Verfügung, aus diesem Grund ist die Aussagekraft der erarbeiteten Karten geringer. Die in den darüber liegenden Tiefenbereichen beobachtete Nord – Süd Zone reduzierter Wärmeleitfähigkeiten ist bereits weniger deutlich ausgeprägt, da in diesem Tiefenbereich die sandig – tonmergeligen Abfolgen der tertiären Beckenfüllung dominiert. Interessanterweise zeigt die Raster Interpolation immer noch Areale mit deutlich erhöhten Wärmeleitfähigkeiten von über 1.9 W/m/K für Bereiche des 21. Bezirks und 22. Bezirks. Für diesen Tiefenbereich zeigen beide unterschiedlichen Berechnungsansätze aufgrund der geringen Anzahl an zur Verfügung gestandenen Tiefbohrungen ein sehr ähnliches Bild.

Tiefenbereich 0 bis 30 Meter unter Gelände

a) Raster Interpolation, wassergesättigte Profile



b) Mittelung für Homogenbereiche, wassergesättigte Profile

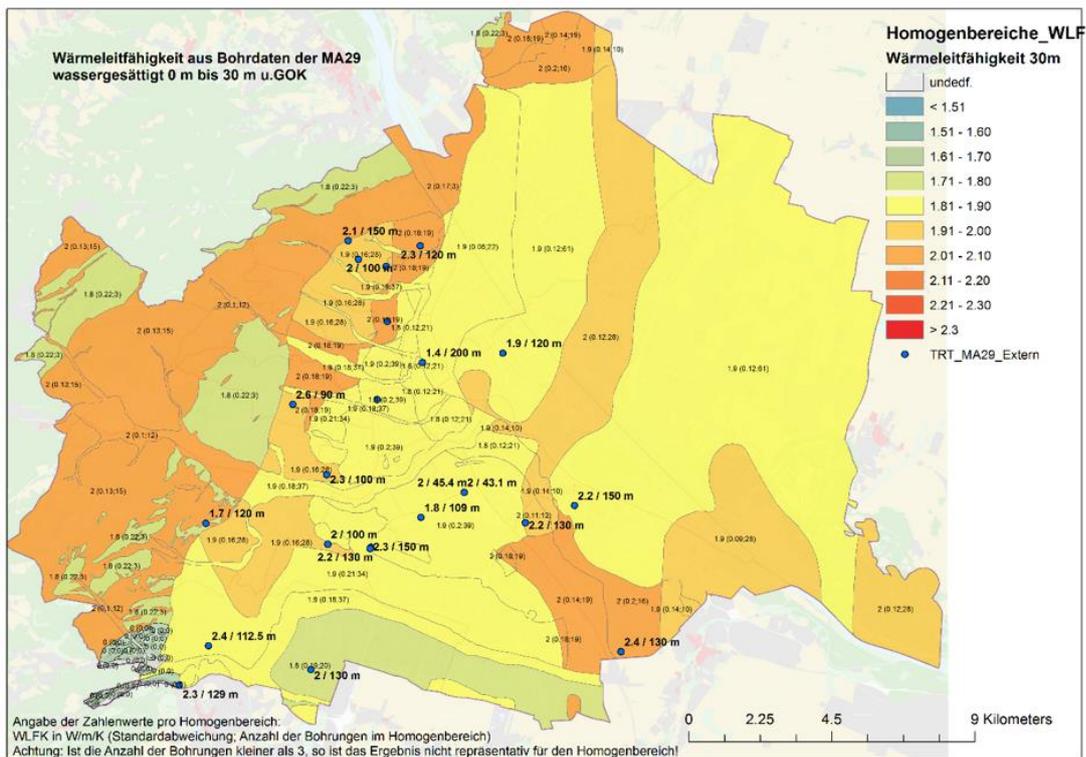
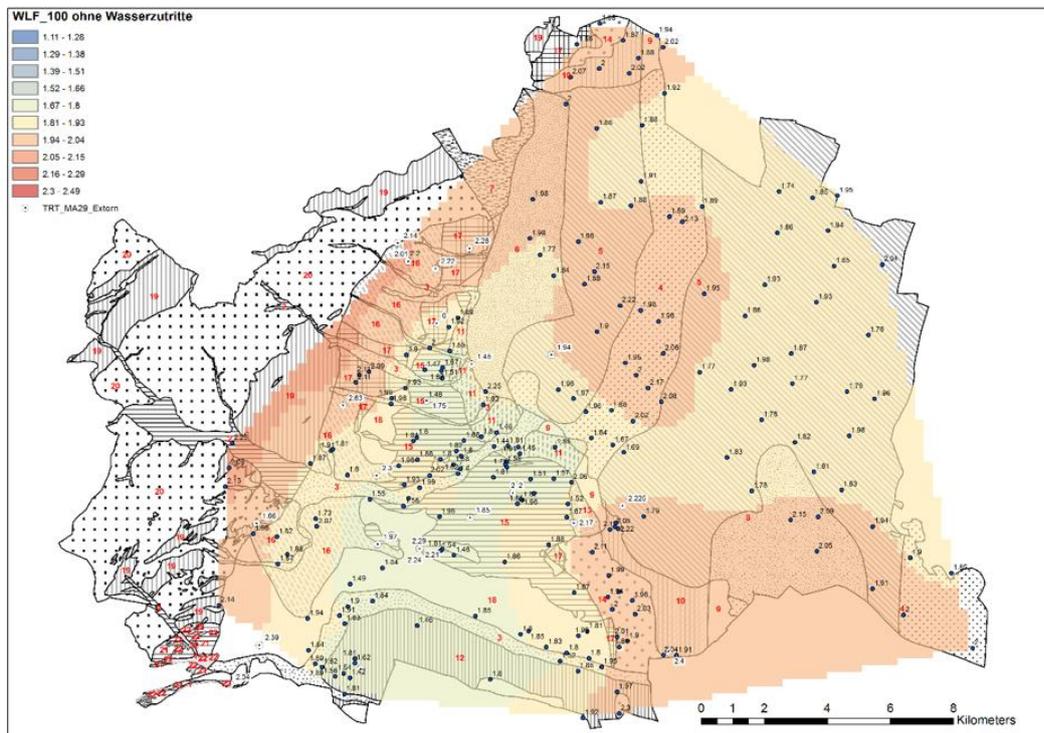


Abbildung 12: Methodenvergleich wassergesättigte Profile, Tiefenbereich bis 30 Meter.

Tiefenbereich 0 bis 100 Meter unter Gelände

a) Raster Interpolation, wassergesättigte Profile



b) Mittelung für Homogenbereiche, wassergesättigte Profile

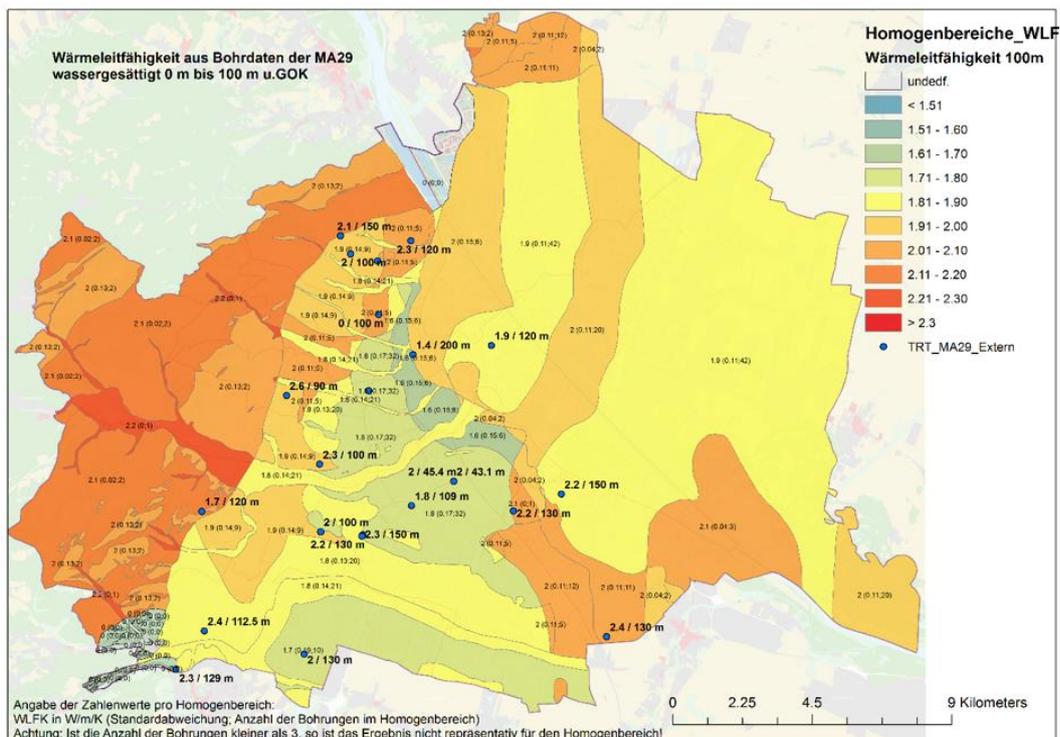
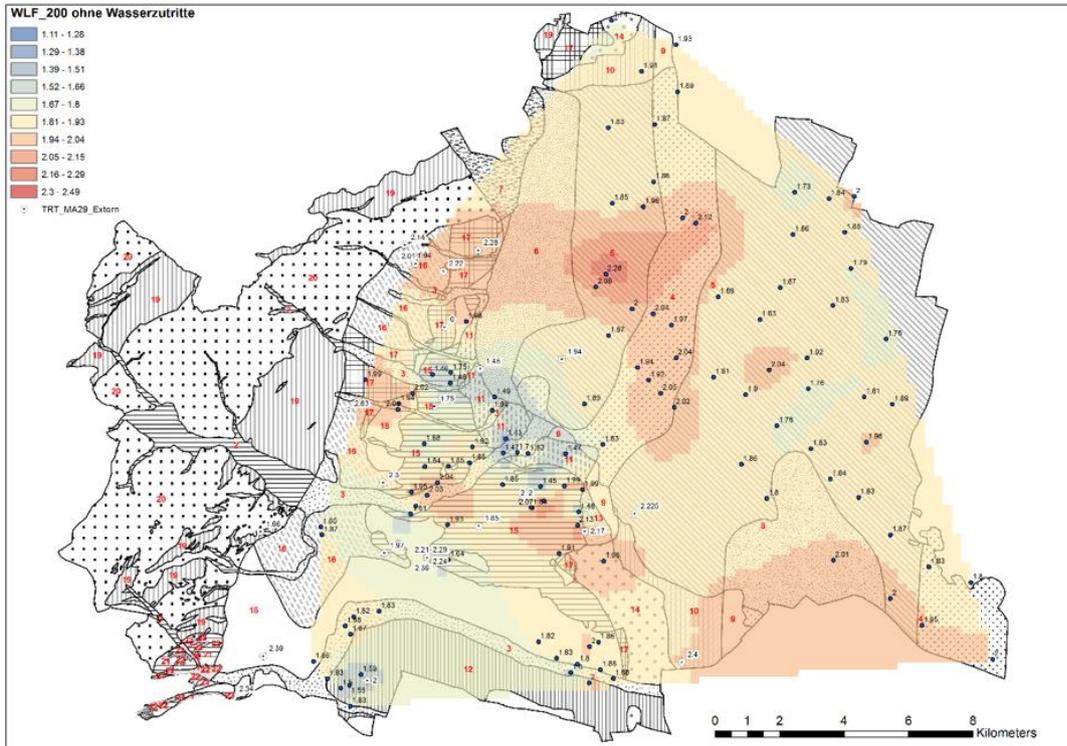


Abbildung 13: Methodenvergleich wassergesättigte Profile, Tiefenbereich bis 100 Meter.

Tiefenbereich 0 bis größer 200 Meter unter Gelände

a) Raster Interpolation, wassergesättigte Profile



b) Mittelung für Homogenbereiche, wassergesättigte Profile

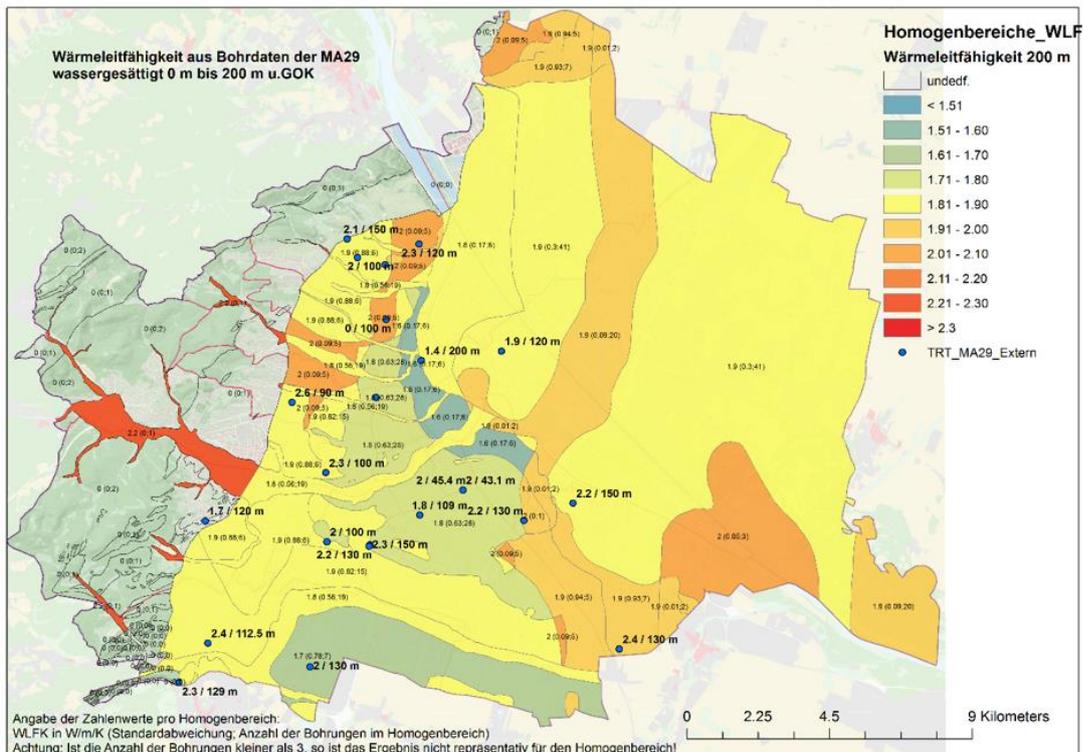
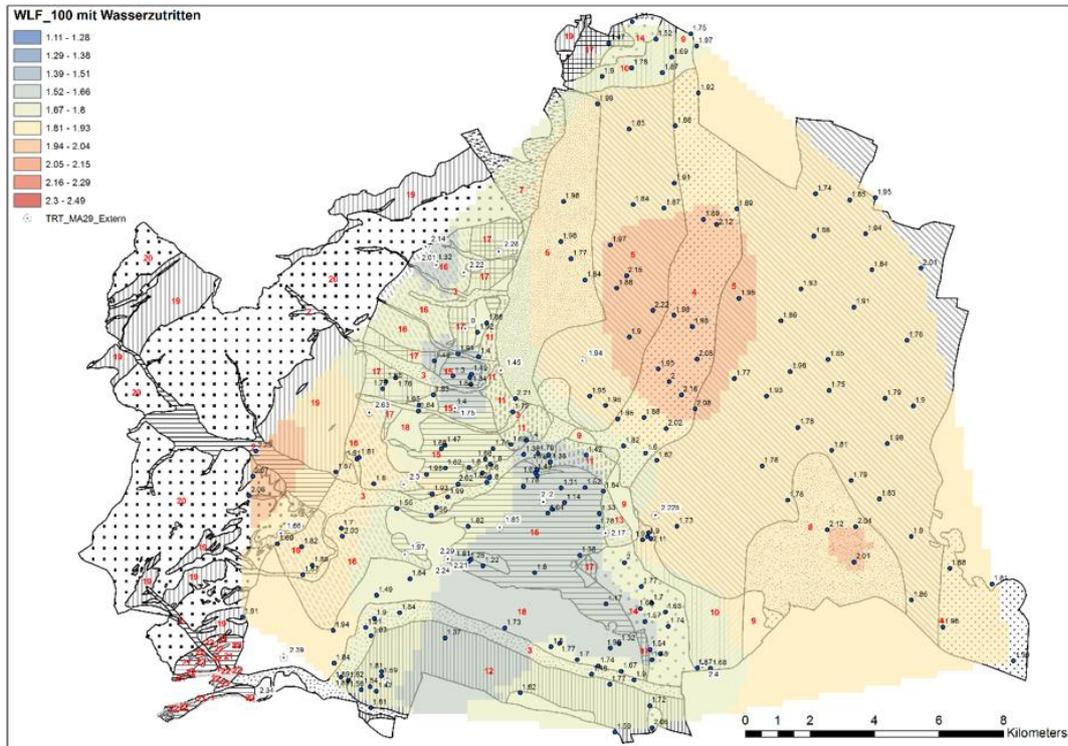


Abbildung 14: Methodenvergleich wassergesättigte Profile, Tiefenbereich bis größer 200 Meter.

Tiefenbereich 0 bis 100 Meter unter Gelände

a) Raster Interpolation, teilgesättigte Profile



b) Mittelung für Homogenbereiche, teilgesättigte Profile

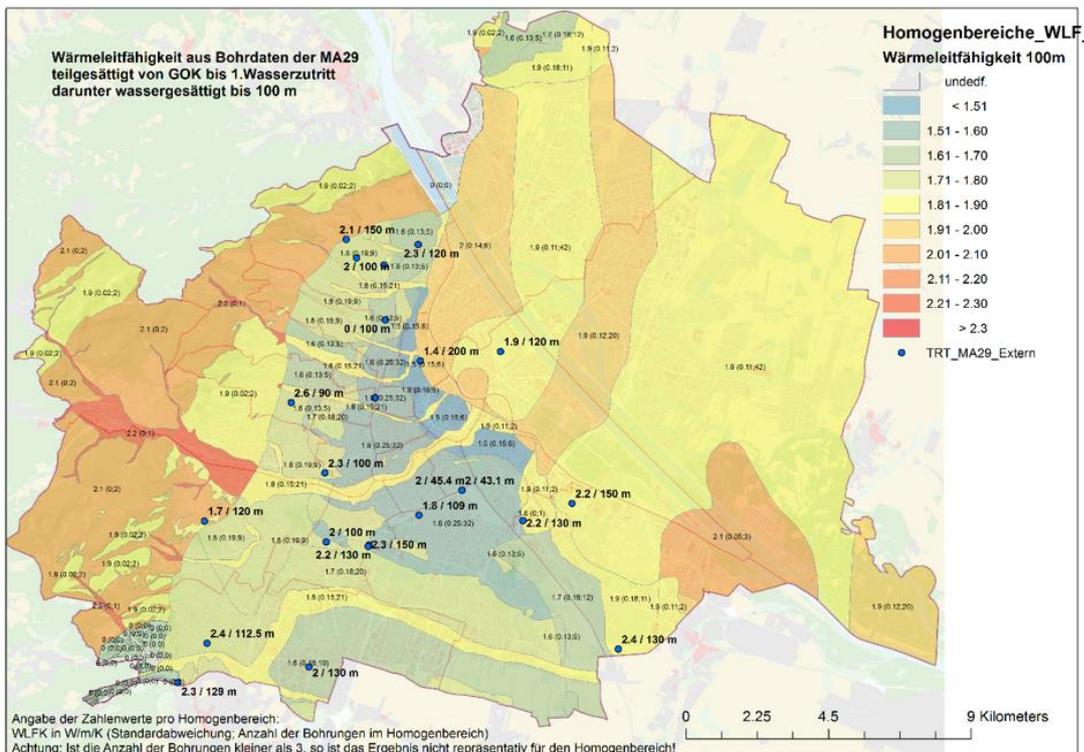


Abbildung 15: Methodenvergleich teilgesättigte Profile, Tiefenbereich bis 100 Meter.

Abschließend werden noch die Ansätze auf Grundlage vollkommener- und teilgesättigter Profile für den Tiefenbereich bis 100 Meter mit einander verglichen (Abbildung 15). Die Berücksichtigung der geschätzten ungesättigten Tiefenzone führt in den Gebieten mit erhöhtem Flurabstand zu einer signifikanten Reduktion der für das Tiefenintervall gemittelten Wärmeleitfähigkeit. Dieser Effekt zeigt sich für das Tiefenintervall bis 30 Meter deutlich und nimmt mit steigendem Tiefenintervall ab. Eine gute Übereinstimmung zwischen TRT Messwerten und der Wärmeleitfähigkeitsprognose für teilgesättigte Profile konnte vor Allem für den Bereich des Donaukanals beobachtet werden. Eine relativ schlechte Übereinstimmung wurde hingegen im Raum Liesing sowie im Bereich Wienerberg und Oberlaa beobachtet werden, wobei eine Unterschätzung der gemessenen Wärmeleitfähigkeit zu verzeichnen ist.

Die letztendlich im Rahmen von WC-31 veröffentlichten Potenzialkarten für Erdwärmesonden Anlagen beruhen auf dem Ansatz der Mittelung für Homogenbereiche auf vollkommen wassergesättigte Profile. Die Potenzialkarten sind der Beilage 1 bis 3 zu entnehmen.

3.1.5 Kalibrierung mit Thermal Response Tests

Abbildung 16 zeigt den Vergleich zwischen der berechneten (konduktiven) Wärmeleitfähigkeit und der gemessenen effektiven Wärmeleitfähigkeit inklusive des Einflusses eventuell zirkulierender Grundwässer aus den Thermal Response Tests. Als Vergleichspunkte wurde das nächstgelegene Bohrprofil in entsprechender Tiefe herangezogen, wobei die Wärmeleitfähigkeit mit dem in Kapitel 3.1.2 dargestellten Workflow berechnet worden ist. Ebenfalls dargestellt sind die Polygone der geologischen Homogenbereiche im Hintergrund. Teilweise zeigt sich eine gute Korrelation, wie z.B. TRT14 (mit dem nächstgelegenen tiefen Bohrprofil BP14), TRT16, TRT17, TRT04, TRT01, BP09, BP10, BP11. Schlechte Korrelation zeigen die Ergebnisse in Liesing (TRT06 –TRT08), TRT03, TRT12 und TRT13. Die höheren TRT-Werte könnten die Folge von Grundwasserströmung sein. Zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeiten der Bohrprofile wurde die Wärmeleitfähigkeiten aus der Literatur verwendet (siehe Look-Up Table in Anhang 2). Diese erste Annahme sollte in weiterer Folge analysiert und verbessert (kalibriert) werden. Die Vergleichswerte sind in Anhang 4 tabellarisch angegeben.

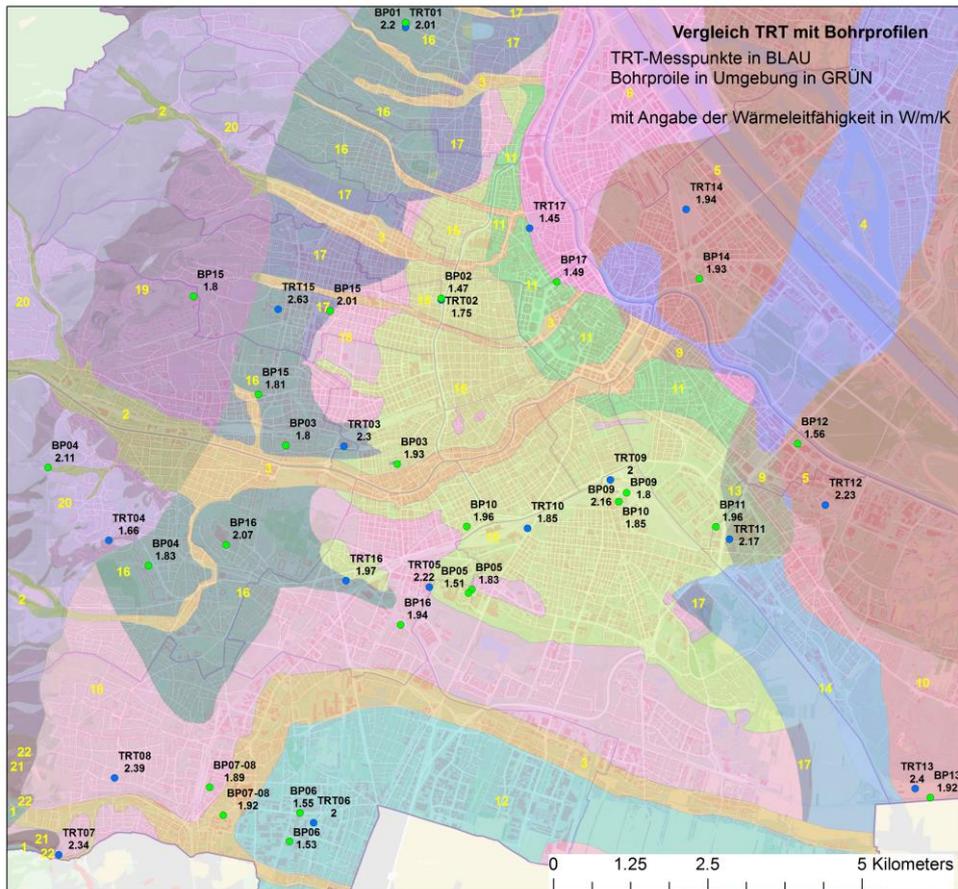


Abbildung 16: Vergleich zwischen den Ergebnissen aus Thermal Response Tests (TRT) mit modellierten Wärmeleitfähigkeiten aus benachbarten Bohrprofilen (BP).

Eine schlechte Übereinstimmung zwischen modellierten- und tatsächlich gemessenen Wärmeleitfähigkeiten kann auf folgende Ursachen zurückgeführt werden:

- Der Thermal Response Test wurde von Grundwasserzirkulation beeinflusst und liefert in Folge einen höheren Effektivwert als das konduktive Modell.
- Es liegt eine Messungenauigkeit beim Thermal Response Test vor.
- Die Zuteilung der Wärmeleitfähigkeit (Look-Up Tabelle) ist noch nicht ausreichend kalibriert.

Die ursprünglich avisierte Kalibrierung der Wärmeleitfähigkeitsmodelle mit Ergebnissen der Thermal Response Tests war in der Bearbeitungszeit des Projekts WC-31 noch nicht möglich. Dieser Arbeitsschritt ist für nachfolgende Module vorgesehen.

3.1.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Es wurde ein Workflow mit einem semiautomatischer Algorithmus erarbeitet, um aus Bohrungsinformationen des Baugrunderkennungsregisters relativ rasch flächenspezifische Wärmeleitfähigkeitskarten erstellen zu können.

Die Mittelwertbildung der Wärmeleitfähigkeit aller Bohrungen im jeweiligen Homogenbereich wurde mit vorläufiger Berücksichtigung der ungesättigten Zone gebildet und dient zum Vergleich der Ergebnisse bis 100 m Tiefe. Die ungesättigte Zone geht hier etwas zu stark in das Ergebnis ein – eine künftige Weiterentwicklung wäre jedoch sicherlich interessant um eine genauere Wärmeleitfähigkeitsprognose zu ermöglichen.

Vorsicht bei der Interpretation ist bei den Wärmeleitfähigkeitsangaben der westlichen Homogenbereiche bei 100 m Tiefe oder größer geboten, da diese Bereiche nur 1-2 Bohrungen existieren und der Wert statistisch nicht repräsentativ ist. Aus diesem Grund ist zusätzlich zur Wärmeleitfähigkeit des Homogenbereichs auch die Anzahl der Bohrungen zu beachten.

Verbesserungspotenzial verbirgt sich hauptsächlich in einer genaueren und detaillierteren Angabe der Wärmeleitfähigkeiten der Look-Up Tabelle (Anhang 2), sowie in der Erhöhung der verwendeten Bohrdaten aus dem Baugrunderkennungskataster. Der Baugrunderkennungskataster enthält mehr als 2000 weitere Bohrungen größer 100 m Tiefe die hier nicht berücksichtigt wurden. Vor allem im westlichen Bereich der Flyschzone geht die Anzahl der tiefen Bohrungen die hier nicht berücksichtigt wurden jedoch gegen Null, wodurch auch die Wärmeleitfähigkeitsprognose möglicherweise nicht repräsentativ ist.

Die Kalibrierung der Look-Up Tabellen der thermischen Gesteinseigenschaften soll in weiteren Bearbeitungsmodulen mit Hilfe der Daten aus den TRT Messungen erfolgen. Zu diesem Zweck werden an den Standorten der TRT Messungen Modellwerte der Wärmeleitfähigkeit berechnet, welche anschließend durch inverse Anpassung unter Berücksichtigung eines möglichen Grundwassereinflusses an die Ergebnisse der TRT Messungen angepasst werden. Aus diesem Ansatz heraus lassen sich zukünftig bei Vorhandensein einer ausreichenden Anzahl an TRT Messdaten die thermischen Eigenschaftentabellen der 18 Hauptgesteinstypen präzisieren.

3.2 Thermische Grundwassernutzung

3.2.1 Einleitung

Die Erhebung des Anwendungspotenzials thermischer Grundwassernutzungen berücksichtigte lediglich den obersten Grundwasserkörper. Dieser befindet sich in weiten Teilen Wiens in Aquiferen quartärer Schotter. In einigen Gebieten stellen jedoch tertiäre Grundwasserleiter den obersten Grundwasserhorizont dar (vgl. hierzu Abbildung 1). Wie bereits in Kapitel 1.2 erläutert wurde die thermische Nutzung tieferer Grundwasserhorizonte im Projekt WC-31 nicht berücksichtigt.

Die Zielsetzung der flächendeckenden Potenzialkarte im Maßstab 1:25.000 lag in der Abschätzung der maximalen thermischen Leistung eines Brunnenpaars unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Standortvoraussetzungen. Auf Grundlage dieser Abschätzung wurden Leistungsklassen definiert, die mit hydrogeologischen Homogenbereichen verknüpft worden sind. Bestehende Nutzungen und daraus abzuleitende bereits gehobene Anwendungspotenziale wurden in der Erstellung dieser Potenzialkarte nicht berücksichtigt.

3.2.2 Vorgehensweise und Methodik

Den Ausgangspunkt der Potenzialbewertung bildet eine hydrogeologische Übersichtskarte im Maßstab 1:25.000, welche das Wiener Landesgebiet in 14 Homogenbereiche unterteilt. In weiterer Folge wurde innerhalb der Homogenbereiche die maximale thermische Leistung virtuelle Brunnenpaare bemessen. Die thermische Leistung eines Brunnenpaars ergibt sich aus:

$$P = \Delta T \cdot (cp \cdot \rho)_{\text{wasser}} \cdot Q [W] \quad \text{Gleichung 3.2}$$

Mit: ΔT ... Temperaturspreizung zwischen Entnahme- und Einleitbrunnen [$^{\circ}\text{C}$], $cp \cdot \rho$... Volumetrische Wärmekapazität des Grundwassers [$\text{J}/\text{m}^3/\text{K}$], Q ... Schüttung bzw. Umsatzrate der Brunnendublette [l/s bzw. m^3/s].

Die Standorte der virtuellen Brunnenpaare lagen an Positionen mit hydrogeologischen Aufschlüssen. Gegliedert nach deren Relevanz und Priorität wurden folgende Aufschlüsse für die Bemessung der Brunnenpaare benutzt:

1. Grundwasser Messstellen des hydrografischen Dienstes inklusive Aufzeichnung der Grundwassertemperatur.
2. Grundwasser Messstellen ohne Temperaturaufzeichnungen.
3. Bohrprofile aus dem Baugrunderkater der MA29.

A priori wurde eine konstante Temperaturspreizung von max. 5°C zwischen Entnahme und Einleitungsbrunnen für die Leistungsberechnung vorgegeben. In einem ersten Schritt wurde bei Verfügbarkeit von Grundwassertemperatur Ganglinien geprüft, ob die geforderte Temperaturspreizung unter Berücksichtigung maximaler- und minimaler Einleitertemperaturen gemäß ÖWAV RB207 (max. 20°C bzw. minimal 5°C am Einleitepunkt) verletzen würde. Hierbei wurde die beobachtete Minimaltemperatur im Grundwasserkörper durch 5. Perzentil, die Maximaltemperatur durch die 95. Perzentil der maximal 10 jährigen Ganglinien beschrieben. Zusätzlich wurde zur Bemessung der Temperaturschichtung des Grundwasserkörpers die Differenz zwischen dem Temperaturwert am seichtesten und tiefsten Punkt des Pegels für jede Stichtagsmessung berechnet und ebenfalls statistisch ausgewertet. Im Fall einer bereits feststellbaren signifikanten Beeinflussung der Grundwassertemperatur wurde die Temperaturspreizung entsprechend den Vorgaben des ÖWAV RB207 reduziert.

Da die volumetrische Wärmekapazität des Grundwassers jener von reinem Wasser gleichgesetzt worden ist, musste lediglich die maximal zulässige Schüttung pro Brunnenpaar in einem abschließenden Arbeitsschritt bemessen werden. Die maximal zulässige Schüttung pro Brunnenpaar (Brunnenleistung) wurde nach folgendem vereinfachten Ansatz gemäß Thiem (1906) bemessen:

$$Q = kf \cdot (m_{NGW} - 1) \cdot m_{MGW} \quad \text{Gleichung 3.3}$$

Mit m_{NGW} ... Hydraulisch wirksame Mächtigkeit des Grundwasserkörpers bei Niedrigwasserstand und m_{MGW} ... Mächtigkeit des Grundwasserkörpers bei Mittelwasserstand.

Die Bemessung der Brunnenleistung erfolgte somit unabhängig von dem Durchmesser des Brunnens lediglich gemäß den Standortparametern kf-Wert und den Grundwasserspiegelhöhen MGW und NGW. Hierbei hat der kf-Wert den größten Einfluss auf die Bemessung der Brunnenleistung. Leider standen zum Zeitpunkt des Projekts WC-31 noch keine aufbereiteten flächendeckenden Informationen über die Verteilung der kf-Werte in den wichtigsten Aquiferen zur Verfügung. Für den Bereich der rezenten Donauschotter sowie der Pannonen (Tertiären) Feinsand dominierten Aquifere standen aus Vorstudien der Geologische Bundesanstalt kf-Werte zur Verfügung, die aus Korngrößen Verteilungen abgeschätzt worden sind. Der Mittelwert der ungünstigen kf-Wertprognose für die gering leitenden Aquifere des Tertiärs wurde anschließend für jene Gebiete herangezogen, die sich außerhalb der mit Messwerten belegten Areale befanden. Die hydraulisch wirksamen Wasserstände (MGW, NGW) wurden, soweit vorhanden, folgendermaßen aus den Grundwasserganglinien der ausgewerteten Grundwassermessstellen abgeleitet:

- MGW: Medianwert der 10 jährigen Ganglinie
- NGW: 25. Perzentil der 10 jährigen Ganglinie
- HGW: 75. Perzentil der 10 jährigen Ganglinie

Zur Bemessung der jeweils hydraulisch wirksamen Grundwassermächtigkeit wurden die Differenz aus der jeweiligen Wasserspiegelhöhe und der Basis des Aquifers gemäß den umliegenden Bohrprofilen bemessen. Da in den meisten Fällen keine geologischen Profile an der Position der Grundwassermessstelle vorhanden waren, wurde die Basis des Aquifers für die Position des Pegels geschätzt. Dies erfolgte unter Zuhilfenahme von folgendem Ansatz:

$$m_{MGW} = m - \langle MGW - HGW \rangle \quad \text{Gleichung 3.4}$$

$$m_{NGW} = m - \langle NGW - HGW \rangle \quad \text{Gleichung 3.5}$$

Mit m ... Brutto Mächtigkeit des Aquifers und $\langle MGW-HGW \rangle$... Mittelwert der Differenzen aller gemessenen Wasserspiegelhöhen, die in dem jeweiligen hydrogeologischen Homogenbereich ausgewertet worden sind.

Die Abschätzung der hydraulisch wirksamen Mächtigkeiten gemäß Formel 4 und Formel 5 erfolgte für vorrangig für Tiefbohrungen, die zwar die Lage des Aquifers anzeigen, jedoch über keine Wasserspiegelangaben verfügen.

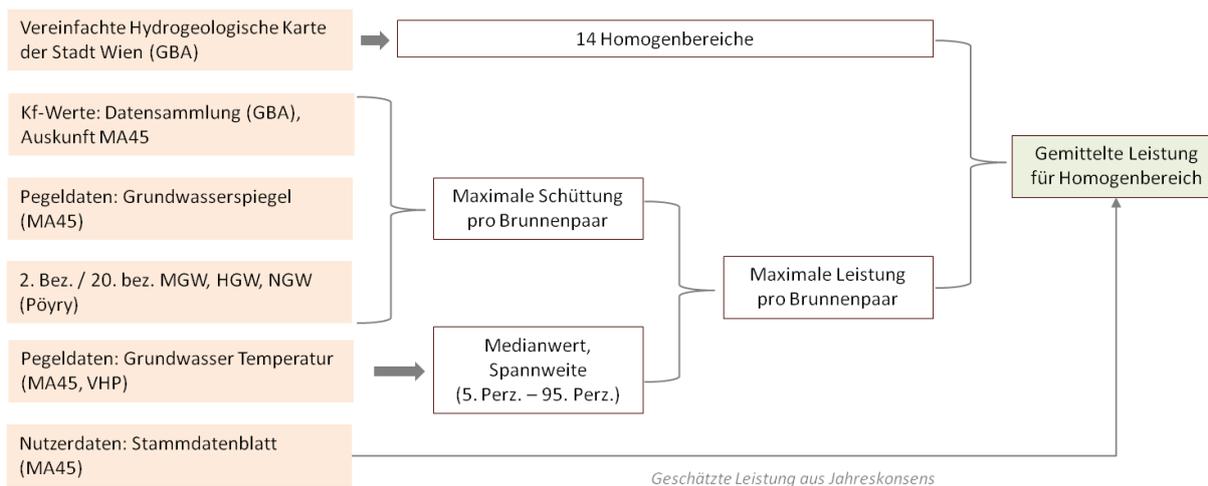
Nach Abschluss der hydraulischen und thermischen Leistungsbemessung pro Brunnenpaar wurden die erzielten Ergebnisse für die 14 Homogenbereiche zusammengefasst. Ursprünglich war auch geplant Kenndaten aus Wasserbuchstamtblättern für die Bemessung der mittleren Leitung in einem hydrogeologischen Homogenbereich heranzuziehen. Die Bemessung der thermischen Leistung bereits genehmigter Nutzungen erfolgte ebenfalls auf Grundlage von

Gleichung 3.2 und stellt eine behördlich genehmigte Maximalleistung dar. Hierbei wurde wiederum eine Temperaturspreizung von 5°C angenommen. Für die Bemessung der Brunnenschüttung wurde die Konsensmenge (Maximalkonsens bzw. Jahreskonsensmenge) berücksichtigt. Da die hieraus erzielten thermischen Leistungen aufgrund des oftmals geringem Wärmebedarfs des Werbers in den meisten Fällen weit unter den hypothetischen Leistungen aus der Bewertung der Standorte lagen und zudem nur Stammbblätter von wenigen Nutzungen vorlagen, wurde dieser Ansatz nicht für die Bewertung der thermischen Leistungsklasse herangezogen. Die Bewertung der thermischen Leistung der Grundwasserkörper im Wiener Landesgebiet könnte jedoch bei Auswertung aller Stammbblätter zu relevanten Aussagen über die Intensität (Auslastungsgrad) der thermischen Grundwassernutzung führen. Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Güte der zur Potenzialabschätzung benutzten Eingangsdaten wurden die verschiedenen Datenquellen folgendermaßen gewichtet:

- Grundwasser Messstellen mit Temperaturganglinien und Nutzungen in der Nähe: 1
- Grundwasser Messstellen mit Temperaturganglinien: 0.75
- Grundwasser Messstellen: 0.5
- Tiefbohrungen ohne Grundwasser Informationen: 0.2

Die mittlere Leistung für jeden hydrogeologischen Homogenbereich erfolgte durch gewichtete Mittelung gemäß den zuvor angeführten Gewichtungsfaktoren.

Die Einteilung der Klassen erfolgte schließlich teilweise aus der statistischen Verteilung der Bewertungen der virtuellen Einzelbrunnenpaare, teilweise aus technischen Überlegungen heraus. In der nachfolgenden Abbildung 17 ist der angewendete Workflow zur Bewertung von Anwendungspotenzialen der thermischen Grundwassernutzung nochmals schematisch zusammengefasst.



**Abbildung 17: Workflow zur Bewertung der Anwendungspotenziale thermischer Grundwasser-
sennutzungen im Rahmen des Projekts WC-31.**

3.2.3 Ergebnisse

Die nachfolgende Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der thermischen Leistungsbemessung eines Brunnenpaares für die 14 Homogenbereiche im Wiener Landesgebiet gemäß dem zuvor beschriebenen Ansatz. Für 2 der 14 Homogenbereiche lagen keine Stützstellen vor. Aufgrund der geologischen Voraussetzung wurden beide Bereiche (lokal begrenzte Kluft- und Karstgrundwasserleiter) der niedrigsten Leistungsklasse zugeordnet. Tabelle 5 zeigt neben der Anzahl der ausgewerteten Stützstellen (Pegel und Tiefbohrungen) auch die Qualität der benutzten Datengrundlage durch Aufsummieren der Gewichtungsfaktoren der Datenquellen (siehe hierzu Kapitel 3.2.2). Die gewichteten Mittel der berechneten thermischen Brunnenleistungen liegen für die meisten Homogenbereiche unter 10 kW pro Brunnenpaar. Lediglich für die Gebiete der ausgeprägten Grundwasserkörper in den quartären Donauschottern (Homogengebiet 10 und 14) wurden mittlere Leistungen von deutlich über 10 kW berechnet. In beiden Gebieten beträgt das gewichtete Mittel sogar über 100 kW pro Brunnenpaar.

Tabelle 5: Tabellarische Übersicht der thermischen Leistungsabschätzung für die 14 hydrogeologischen Homogenbereiche im Wiener Landesgebiet.

ID	Legende			Anzahl Stützstellen	Bewertung Daten-Grundlage	Leistung pro Brunnenpaar (kW)			Klasse
						Min	Max	Gewichtetes Mittel	
2	k.A.	Kluftgrundwasserleiter	lokale und begrenzte Grundwasserführung	0	k.A.				1
3	k.A.	Kluft- und Porengrundwasserleiter	lokale und begrenzte Grundwasserführung	6	3.4	0.6	13.1	4.6	2
4	k.A.	Karstgrundwasserleiter	lokale und begrenzte Grundwasserführung	0	k.A.				1
5	Bach- und Flussalluvionen	Porengrundwasserleiter	ergiebige Grundwasserführung	6	1.75	0	8.7	2.0	2
6	Bach- und Flussalluvionen	Porengrundwasserleiter	ergiebige Grundwasserführung	11	4.4	0.4	13.07	1.3	2
7	Bach- und Flussalluvionen	Porengrundwasserleiter	ergiebige Grundwasserführung	2	0.95	1.8	6	2.7	2
8	Laaberbergterrasse	Porengrundwasserleiter	lokale und begrenzte Grundwasserführung	6	1.2	0	27.8	6.4	3
9	Liesingbachschotter	Porengrundwasserleiter	lokale und begrenzte Grundwasserführung	8	5.65	0.4	36	8.7	3
10	Schotter der Praterterrasse	Porengrundwasserleiter	ergiebige Grundwasserführung	15	10.65	2.41	1116	329.2	4
11	Schotter im Niveau der Arsenalterrasse	Porengrundwasserleiter	lokale und begrenzte Grundwasserführung	14	3.45	0.3	37.2	5.5	3
12	Schotter im Niveau der Stadterrasse	Porengrundwasserleiter	lokale und begrenzte Grundwasserführung	15	5.95	0	28	6.5	3
13	Wienerbergterrasse	Porengrundwasserleiter	lokale und begrenzte Grundwasserführung	5	2.15	1.1	12.7	8.4	3
14	Zone der rezenten Mäander	Porengrundwasserleiter	ergiebige Grundwasserführung	15	13	2.92	447.63	135.6	4

Auf Grundlage der gewichteten Mittel wurde unter Berücksichtigung technischer sinnvoller Leistungsgrenzen die nachfolgend, in Tabelle 6, angeführte Klasseneinteilung für die Erstellung der flächendeckenden Potenzialkarte durchgeführt. Die definierten Leistungsklassen pro Brunnenpaar differenzieren hierbei nicht zwischen der Art der Nutzung, respektive der Betriebsweise (Heizen und / oder Kühlen. In zukünftigen Bearbeitungsmodulen könnten jedoch bei Auswertung weiterer Grundwassertemperatur Ganglinien eine unterschiedliche Potenzialkarten für Heizen, Kühlen und saisonaler Wärmespeicherung erstellt werden.

Tabelle 6: Klasseneinteilung der flächendeckenden Potenzialkarte für die thermische Nutzungen des obersten Grundwasserkörpers.

Klasseneinteilung	
Leistungsbereich < 1 kW	Thermische Grundwassernutzung nicht zu empfehlen
Leistungsbereich 1 kW bis < 5 kW	Betrieb von Kleinanlagen nach Prüfung der lokalen Verhältnisse möglich
Leistungsbereich 5 kW bis < 20 kW	Betrieb von mittleren Anlagen nach Prüfung der lokalen Verhältnisse möglich
Leistungsbereich > 20 kW	Betrieb von Großanlagen und lokalen Netzen nach Prüfung der lokalen Verhältnisse möglich

Die erarbeitete flächendeckende Potenzialkarte der thermischen Grundwassernutzung ist diesem Bericht als Beilage 4 beigefügt. Die nachfolgende Abbildung 18 zeigt die Potenzialkarte in Kombination mit den Ergebnissen der Einzelbemessungen in den Homogenbereichen unter Benutzung der gleichen Klasseneinteilung.

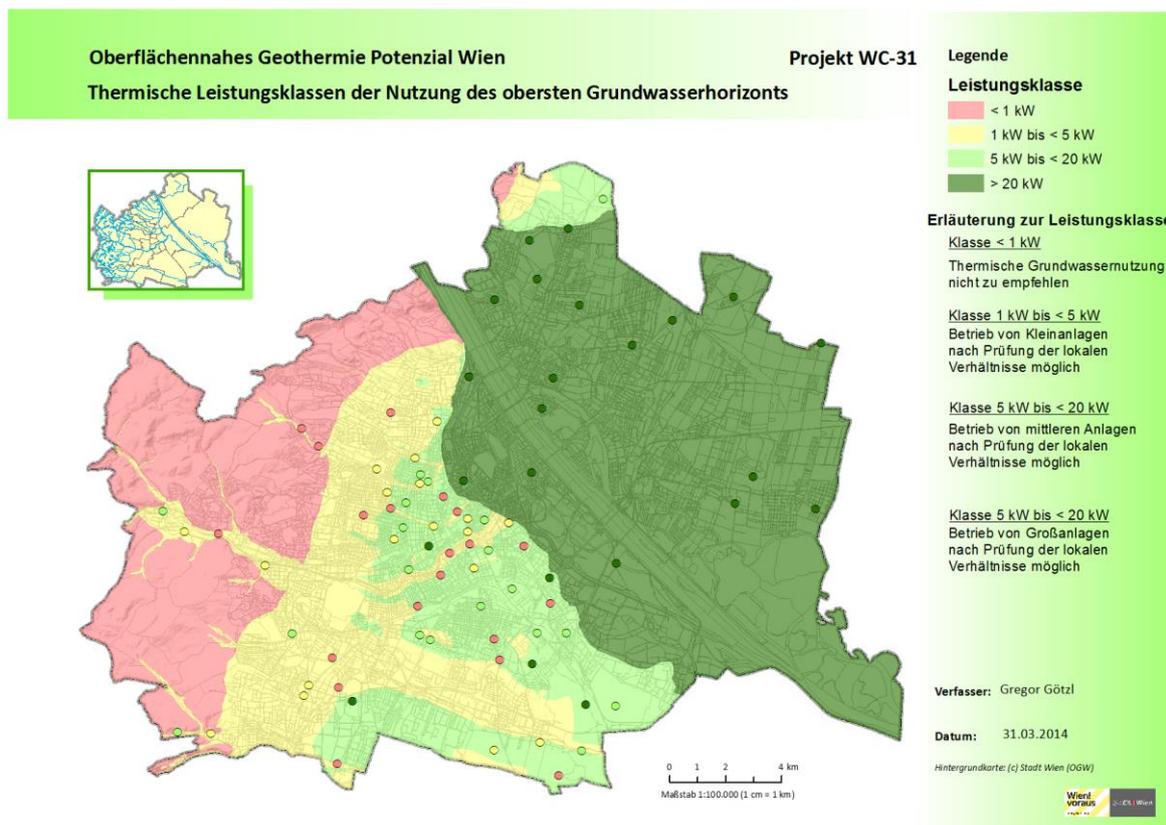


Abbildung 18: Flächendeckende Potenzialkarte der thermischen Grundwassernutzung, kombiniert mit den Einzelbemessungen.

Die Gebiete mit den höchsten Leistungsklassen befinden sich erwartungsgemäß in den Arealen der quartären Donauschotter. Sämtliche in diesem Gebiet errechneten Brunnenleistungen entsprechen der ausgewiesenen Leistungsklasse von >20 kW pro Brunnenpaar. In den übrigen Teilen des Wiener Landesgebiets weisen die Einzelbemessungen eine teilweise deutliche Streuung auf. Die Wienerwaldgebiete und Areale mit ausschließlich tertiären Grundwasserleitern weisen keine oder beschränkte thermische Potenziale mit Leistungsklassen bis <5 kW pro Brunnenpaar auf. Dies gilt auch für die Areale der Wienerwaldbäche (z.B. Liesing oder Wienfluss), obwohl einzelne Standorte Brunnenleistungen von 10 bis 15 kW ergaben. Die Gebiete der Schotterterrassen in Wien (Innere Bezirke + 3., 11. und 23. Bezirk) liegen in der mittleren Leistungsklasse zwischen 5 und 20 kW pro Brunnenpaar. In diesen Gebieten wiesen die Einzelbemessungen jedoch eine starke Streuung auf.

3.2.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Rahmen der Studie WC-31 wurde aufgrund der zur Verfügung gestandenen Datenlage ein stark vereinfachter Ansatz zur Bemessung von Potenzialen der thermischen Nutzung des obersten Grundwasserhorizonts benutzt. Dieser Ansatz bemisst das thermische Potenzial in erster Linie aufgrund der hydraulisch wirksamen Mächtigkeiten der Aquifere. Der für die Bemessung wichtige Durchlässigkeitsbeiwert der Aquifere (kf-Wert) musste aus Mangel an flächendeckenden Datensammlungen für einige Gebiete geschätzt werden. Zudem reichten die im Rahmen der Studie WC-31 zur Verfügung gestellten Grundwassertemperatur Ganglinien nicht aus differenzierte Potenzialkarten zu erstellen. Potenzialkarten für unterschiedliche Betriebsweisen (Heizen und / oder Kühlen) sollten jedoch in zukünftigen Bearbeitungsmodulen angestrebt werden.

3.3 Zusammenfassung

Im Rahmen des Projekts WC-31 wurden flächendeckende Potenzialkarten der beiden wichtigsten oberflächennahen geothermischen Anwendungen in Wien, der so genannten Erdwärmepumpen Nutzung (geschlossene Wärmetauscher in Form von Erdwärmesonden) und der thermischen Nutzung des obersten Grundwasserkörpers erstellt. Beide Karten liegen im Maßstab 1:25.000 vor und beruhen auf generalisierten geowissenschaftlichen Bewertungsansätzen.

Die Kartenserie der geschlossenen Wärmetauschersysteme (Erdwärmesonden oder Erdwärmepumpen) beinhaltet Prognosen der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes für die Tiefenbereiche bis 30 Meter, 100 Meter und mehr als 200 Meter unter Gelände. Die Potenzialkarte der thermischen Grundwassernutzung berücksichtigt den obersten Grundwasserhorizont im Wiener Landesgebiet und weist 4 Leistungsklassen auf. Abbildung 19 zeigt die qualitative Bewertung des Gesamtpotenzials im Wiener Landesgebiet. Zu diesem Zweck wurden Teile der Potenzialkarte für Erdwärmepumpen in einem Tiefenbereich bis 100 Meter mit Teilen der Potenzialkarte der thermischen Grundwassernutzung kombiniert. Hierbei wurden jeweils die mäßigen und guten Potenzialklassen aufeinander projiziert. Die mittleren Potenzialklassen wurden ausgeblendet.

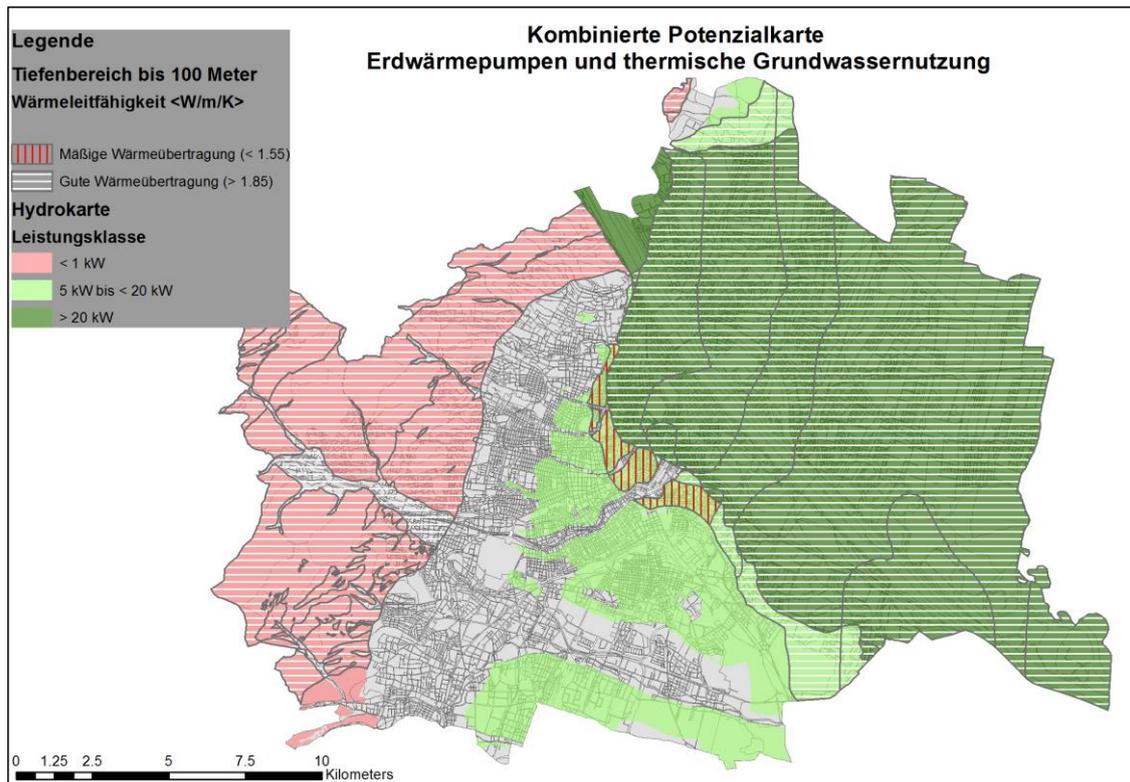


Abbildung 19: Gesamtpotenzial im Wiener Landesgebiet aus der Kombination der Potenzialkarten für 100 Meter lange Erdwärmesonden und für die thermische Nutzung des obersten Grundwasserkörpers.

Die qualitative Bewertung des Gesamtpotenzials zeigt, dass die Areale des 21. Bezirks und 22. Bezirks für beide Anwendungsformen gut geeignet sind. Der westliche Abschnitt Wiens hingegen in erster Linie für Erdwärmepumpen Anwendungen. Darüber hinaus existiert ein kleiner Bereich entlang des Donaukanals (9. Bezirk und 1. Bezirk), der sich aufgrund seines geologischen Aufbaus vorrangig für eine thermische Grundwassernutzung in Frage kommt. Die Nord – Süd verlaufende Zone mittlerer Wärmeleitfähigkeiten wäre aufgrund der mäßigen thermischen Grundwasserpotenziale (< 5 kW pro Einzelanlage) eher für Wärmepumpen Anwendungen geeignet.

4 POTENZIALERHEBUNG IN DETAILGEBIETEN

Das nachfolgende Kapitel beschreibt die Betrachtung der oberflächennahen geothermischen Anwendungspotenziale in fünf Detailgebieten.

4.1 Einleitung

Neben den flächendeckenden Potenzialkarten wurde auf Wunsch des Auftraggebers eine detaillierte Analyse geothermischer Anwendungspotenziale unter Berücksichtigung der in Kapitel

1.2 angeführten oberflächennahen geothermischen Anwendungssysteme in fünf Detailgebieten durchgeführt, welche im Wesentlichen Stadterweiterungs- bzw. Stadtverdichtungsgebiete darstellen. Die Lage der Untersuchungsgebiete ist der Abbildung 20 zu entnehmen.

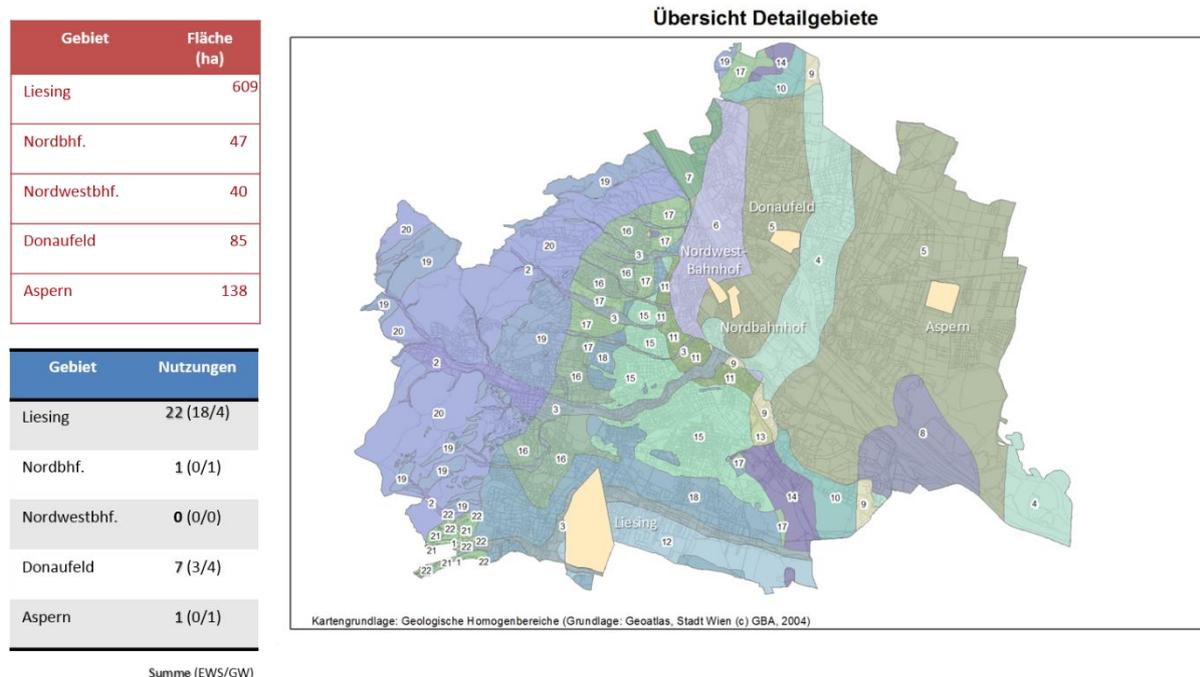


Abbildung 20: Lageübersicht der Detailgebiete in Kombination mit der Angabe der Flächen-größe und der Anzahl der bestehenden Nutzungen.

Vier der fünf Detailgebiete liegen in dem gleichen sowohl geologischen- als auch hydrogeologischen Homogenbereich (Bereich der rezenten Donaueschotter bzw. Bereich der Praterterrasse). Die zwei kleinsten Detailgebiete, Nordbahnhof und Nordwestbahnhof, wurden aufgrund ihrer unmittelbaren Lage Nähe teilweise zusammengefasst betrachtet. Das größte Detailgebiet stellt „Liesing“ mit einer Fläche von 610 ha dar. Das Detailgebiet Liesing erstreckt sich über 3 geologische Homogenbereiche und umfasst hierbei Areale der Liesingbach Schotter sowie des anstehenden Tertiärs.

Die Zielsetzung der Analysen in den 5 Detailgebieten bestand in der quantitativen Abschätzung oberflächennaher geothermischer Anwendungspotenziale bei Berücksichtigung von Erdwärmepumpennutzungen sowie der Nutzung des obersten Grundwasserkörpers. Die bewerteten technischen Anwendungspotenziale sollen in weiterer Folge vom Auftraggeber für die Planung der Gebietsentwicklung herangezogen werden.

4.2 Vorgehensweise und Methodik

Da bei Durchführung des Projekts WC-31 noch keine detaillierten Bebauungspläne oder Lastprofile der Wärmeabnehmer vorlagen, wurden im Rahmen der Potenzialabschätzung technisch mögliche Maximalpotenziale berechnet. Hierbei wurde die Annahme zu Grunde gelegt, dass die gesamte Fläche des Detailgebiets systematisch genutzt wird. Die Bemessung der thermischen Leistung erfolgte getrennt für geschlossene Wärmetauschersysteme (Erdwärmepumpen) und die Nutzung des obersten Grundwasserkörpers, wobei folgende absolute und spezifische Potenzialgrößen für jedes Pilotgebiet berechnet worden sind:

- Technisches Gesamtpotenzial [MW]: Installierbare Maximalleistung bei Nutzung der gesamten Fläche des Areals.
- Spezifische Jahresarbeitsleistung [MWh/Jahr/ha]: Installierbare Maximalleistung, kombiniert mit einer Standardnutzerprofil (1800 Jahresarbeitsstunden).
- Spezifische Investitionskosten [EUR/kW]: Ohne Berücksichtigung von Wärmepumpen Anschaffungen.

Die Berechnung der spezifischen Wärmearbeit und der spezifischen Investitionskosten diente dem Zweck die Anwendungssysteme miteinander vergleichbar zu machen.

4.2.1 Potenzial geschlossener Wärmetauschersysteme (Erdwärmepumpen)

Die Bewertung des technischen Potenzials geschlossener Wärmetauschersysteme folgt in wesentlichen Teilen dem Ansatz für die flächendeckenden Potenzialkarten (vgl. Kapitel 3.1.2). In einem ersten Schritt erfolgte wiederum die Abschätzung der Wärmeleitfähigkeit für das Areal des jeweiligen Detailgebiets für die Tiefenbereiche bis 30 Meter, 100 Meter und über 200 Meter. In einem darauf folgenden Schritt wurden die Wärmeleitfähigkeiten jedoch in effektive Wärmeübertragungsleistungen [W/m] umgewandelt. Dies erfolgte im Rahmen einer konservativen Betrachtung für einen einseitigen Heizlastfall unter Vorgabe eines Sondenfelds, welches das gesamte Areal des Detailgebiets systematisch abdeckt. Dies ist gleichbedeutend mit der maximal technisch möglichen Anwendungsmöglichkeit.

Die Umwandlung der Wärmeleitfähigkeiten in Wärmeübertragungsleistung berücksichtigt die Betriebsweise der Anlage in Form einer Jahresarbeitsleistung. Zu diesem Zweck wurde für alle Detailgebiete ein Normalastprofil definiert, welches 1800 Jahresbetriebsstunden vorsah. Sämtliche Sondenfelder wurden wiederum bei konservativer Betrachtung mit einem Sondenabstand von 10 Metern betrachtet. Die Umwandlung in Wärmeübertragungsleistungen erfolgte unter Zuhilfenahme der Schweizer Norm SIA 384/6, welche Typusnomogramme der Korrelation zwischen der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmeübertragungsleistung unter Berücksichtigung der Jahresbetriebsstunden, der Sondengeometrie, der Auslegung der Sonden (Einzelsonde oder Sondenfeld) sowie der volumetrischen Wärmekapazität des Untergrundes darstellt.

Der Sondengeometrie wurde einheitlich eine Doppel U-Rohr Sonde (Duplex Sonde) mit Standardmaterialien und Standarddurchmesser gemäß SIA 384/6 zu Grunde gelegt. Für die Bemessung des Einflusses des Sondenfelds (Abschlag) wurde die Leistungskurve für ein 2 x 2 Erdwärmesondenfeld mit einem Sondenabstand von 10 Metern benutzt.

Zur Bemessung der Wärmeübertragungsleistung wurde in einem ersten Schritt die Übertragungsleistung einer Einzelsonde (Q_{ES}) gemäß SIA 384/6 berechnet. Die Bemessung der effektiven Wärmeübertragungsleistung in einem Sondenfeld (Q_{Feld}) erfolgte unter Zuhilfenahme von Zuschlägen bzw. Abzügen verschiedener Einflussfaktoren:

$$Q_{Feld} = Q_{ES} \cdot f_{Feld} \cdot f_{Temp} \cdot f_{Advektion} \quad \text{Gleichung 4.1}$$

Der Leistungsabzug aufgrund der Wechselseitigen Sonden Beeinflussung (f_{Feld}) wurde gemäß SIA 384/6 einheitlich mit 0.88 (12% Abzug) bewertet.

Der Zuschlag der Bodentemperatur (f_{Temp}) berücksichtigt die Leitungserhöhung für den Kühlfall durch die erhöhte Umgebungstemperatur im Untergrund. Die Bewertungsgrundlage stellt die Behauptung dar, dass die Wärmeübertragungsleistung im Heizfall direkt proportional zur mittleren Bodentemperatur im betrachteten Tiefenintervall ist. Dieser Annahme folgend wurden Zu- bzw. Abschläge für die Tiefenbereiche bis 30 Meter und bis über 200 Meter auf Grundlage des Verhältnisses zur mittleren Bodentemperatur im Standardintervall bis 100 Meter berechnet. Die Abschätzung der mittleren Bodentemperatur basiert auf einer vorgegebenen Oberflächentemperatur gemäß einer höhenabhängigen Interpolationsfunktion sowie eines konstanten Wärmeflusses von 70 mW/m². Der resultierende Temperaturgradient (°C/m) wurde unter Beachtung des Fourier Gesetz der Wärmeleitung mit der zuvor berechneten Wärmeleitfähigkeit des betrachteten Tiefenintervalls berechnet. Der Bemessungsfaktor der Bodentemperatur schwankte in den durchgeführten Analysen zwischen 0.9 und 1.2.

Den größten standortabhängigen Einfluss auf die effektive Wärmeübertragungsleistung besitzt der Wärmeeintrag durch Grundwasser ($f_{Advektion}$). Fließendes Grundwasser kann die Wärmeübertragung durch thermische Advektion (erzwungene Konvektion) deutlich steigern. Die Bemessung des thermischen Einflusses durch fließenden Grundwasser wurde mit Hilfe der Peclet Zahl durchgeführt. Die Peclet Zahl stellt das Verhältnis zwischen advektiven und konduktiven Wärmetransport dar und ist dimensionslos. Bei der Betrachtung eines Aquifers ergibt sich die Peclet Zahl aus:

$$Pe = \frac{m \cdot v_f \cdot \langle cp \cdot \rho \rangle_{Aquifer}}{\langle \lambda \rangle_{Aquifer}} \quad \text{Gleichung 4.2}$$

Mit: m... Durchfluss wirksame Mächtigkeit des Aquifers; $\langle cp \cdot \rho \rangle_{Aquifer}$... Volumetrische Wärmekapazität des Aquifers; $\langle \lambda \rangle_{Aquifer}$... Effektive Wärmeleitfähigkeit des Aquifers.

Im Falle eines ausschließlich konduktiven Wärmetransports (Standardfall im dichten Untergrund) gilt: $Pe=0$. Bei $Pe=1$ gilt, dass die Wärmeübertragung durch Advektion der Wärmeübertragung durch Konduktion (Wärmeleitung) entspricht. Zur Bemessung des Einflusses von fließendem Grundwasser auf die Wärmeentzugsleistung einer Erdwärmesonde wird eine äquivalente Wärmeleitfähigkeit ($\lambda_{äqu}$) definiert:

$$\lambda_{\text{äqu}} = \lambda \cdot (1 + Pe) \quad \text{Gleichung 4.3}$$

Dieser Parameter ist zwar physikalisch nicht ganz korrekt aber für die Bemessung der Erdwärmesonde ausreichend exakt. Der Gesamtzuschlag für den betrachteten Tiefenbereich ergibt sich aus dem Verhältnis der durchflusswirksamen Mächtigkeit des Aquifers zur Länge des betrachteten Tiefenbereichs. Der Zuschlag für Advektion ist im Raum Wien vor Allem für kleine Tiefenbereiche (bis 30 Meter und teilweise bis 100 Meter) von Bedeutung, da die für Advektion relevanten Grundwasserkörper des Donaubegleitstroms in seichten Tiefen bis max. 20 Meter liegen. Der Zuschlag für Advektion ($f_{\text{Advektion}}$) erreichte im Rahmen der durchgeführten Analysen Werte von > 2 (Einfluss durch Advektion doppelt so groß wie Einfluss durch Wärmeleitung) und führte somit zu signifikanten Erhöhungen der effektiven Wärmeübertragungsleistungen. Es sei an dieser Stelle jedoch hingewiesen, dass der advective Einfluss des Grundwassers zu Leistungssteigerungen bei einer einseitigen Betriebsweise führt, sich jedoch ungünstig für die saisonale Speicherung von Wärme oder Kälte aufgrund der Verschleppung der eingebrachten Wärmemenge erweist.

Nach Abschluss der Bemessung der effektiven Wärmeentzugsleistung eines systematischen Sondenfelds erfolgt die Berechnung der maximal installierbaren thermischen Leistung [MW] durch Aufsummieren aller Sonden. Die Umwandlung der Gesamtleistung in eine Spezifische Jahresarbeitsleistung [MWh/Jahr/ha] erfolgte durch Multiplikation der Gesamtleistung mit den konstant gehaltenen Jahresarbeitsstunden (1800 Stunden) und anschließender Division durch die Fläche des jeweiligen Detailgebiets.

Die Ausgangsbasis für die Bemessung der Wirtschaftlichkeit stellen Kostenerhebungen bei einschlägigen Dienstleister dar, die von der Geologischen Bundesanstalt durchgeführt worden sind. Hieraus resultieren folgende Kostenmodelle, die eine Gültigkeit zum Zeitpunkt Herbst 2013 besitzen:

- Bau einer Erdwärmesonde (Duplex Standard): EUR 45 / Laufmeter.
- Bau eines Brunnenpaars (Standard Ausführung mit maximaler Brunnentiefe von 20 Meter): EUR 30.000 pro Brunnenpaar.

Die Bemessung der spezifischen Investitionskosten pro installierte Leistungseinheit [EUR/kW] berücksichtigt nicht die Kosten für die Aufbereitung (Wärmepumpe) und den Transport der Wärme.

4.2.2 Potenzial thermischer Grundwassernutzung

Die Bemessung des maximal möglichen technischen Potenzials der thermischen Nutzung des obersten Grundwasserkörpers unterschied im Gegensatz zu den geschlossenen Wärmetauschern zwischen einer einseitigen und einer saisonale ausgeglichenen wechselseitigen Belastung. Die Bemessung des Potenzials erfolgte mit Hilfe unterschiedlicher Ansätze:

Bemessung des technischen Potenzials bei einseitiger Belastung (nur Heizen oder Kühlen):

Die Bemessung der einseitigen Nutzung erfolgte unter Zuhilfenahme eines thermischen Bilanzierungsansatzes. Zu diesem Zweck wurde der jeweils betrachtete Grundwasserkörper einer volumenbezogenen Energiebilanz unterzogen:

$$H = H_{rad} + H_{tan} \quad \text{Gleichung 4.4}$$

Der einseitig nutzbare Wärmeverrats eines Grundwasservolumens [W] ergibt sich somit aus einem radialen Anteil des Wärmenachschubs H_{rad} (orthogonal zum Grundwasserfluss) sowie aus einem tangentialen Anteil des Wärmenachschubs H_{tan} (parallel zum Grundwasserfluss).

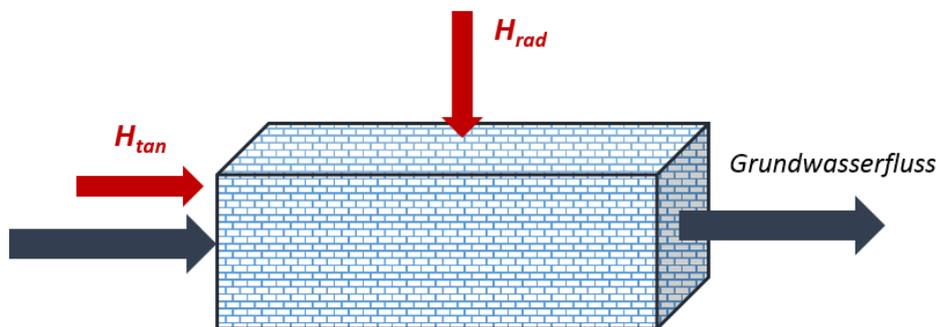


Abbildung 21: Allgemeines Schema der natürlichen Energiebilanz eines Grundwasserkörpers

Wie in Abbildung 21 skizziert ist der radiale Wärmenachschub durch den Wärmefluss von der Oberfläche in den Aquifer bzw. durch den Wärmenachfluss aus dem Untergrund gekennzeichnet. Letzter wurde aufgrund seines geringen Anteils in der Bilanz vernachlässigt. Gemäß dem Regelblatt des Österreichischen Abfall und Wasserverbands 207 (ÖWAV RB 207) kann der von der Oberfläche nachfließende Wärmeanteil folgendermaßen bemessen werden:

$$H_{rad} = \frac{\lambda_{DS} \cdot A \cdot \Delta T_A}{\left(a + \frac{m}{4}\right)} \quad \text{Gleichung 4.5}$$

Der Wärmenachschub von der Erdoberfläche ergibt sich somit aus dem Quotienten aus der Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht des Aquifers (λ_{DS}), der Fläche des Grundstücks (A), der mittleren Temperaturänderung im Aquifer infolge der technischen Nutzung (ΔT_A) und dem Flurabstand (a) sowie der hydraulisch wirksamen Mächtigkeit des Aquifers. Gemäß dem ÖWAV RB 207 (S. 32, abgeändert) wird die zuvor angeführte Formel zur Erstbemessung eines Brunnenfelds vorgeschlagen. Für die Bemessung dieses Anteils wurde eine mittlere Temperaturänderung im Aquifer von 1°C (Nachweisgrenze Temperaturänderung) benutzt.

Der tangential Anteil des Wärmenachschubs wird durch die thermische Advektion infolge des frisch in das Grundstück einströmenden Grundwassers angenähert. Unter der Annahme, dass der Grundwasserzustrom noch nicht durch eine fremde Nutzung thermisch verunreinigt ist gilt für den maximalen Anteil des tangentialen Wärmenachschubs:

$$H_{tan} = B \cdot m \cdot v_f \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T_{max} \quad \text{Gleichung 4.6}$$

Mit: B ... hydraulisch wirksame Breite des Aquifers im Zustrombereich des Grundstücks [m];
 v_f ... mittlere Filtergeschwindigkeit im Bereich des Grundstücks; ΔT_{\max} ... maximale Veränderung der Grundwassertemperatur im Einstrombereich (hier: 5°C).

Im Gegensatz zur Bemessung des Wärmenachschubs von der Erdoberfläche wurde für die Bemessung des advektiven Wärmenachschubs die maximal zulässige Temperaturänderung von 5°C angenommen. Dies gilt nur für den Fall eines thermisch unbeeinflussten Grundwasserzustroms.

Bemessung des technischen Potenzials bei einer saisonal ausgeglichenen thermischen Belastung (Heizen und Kühlen):

Der Bemessung des saisonal energetisch ausgeglichenen Betriebs wurde ein ausschließlich hydraulischer Bewertungsansatz zu Grunde gelegt, da die thermische Gesamtbilanz des Grundwasserkörpers ausgeglichen ist. Dieser Ansatz vernachlässigt jedoch den Wärmeübergang aus dem betrachteten Grundwasservolumen unter einem Grundstück durch Wärmeleitung (Oberfläche und Basis) sowie durch thermische Verschleppung (Advektion in Grundwasserströmungsrichtung). Dieser Bewertungsansatz kann daher als maximal mögliches technisches Anwendungspotenzial unter idealisierten Bedingungen angesehen werden, wenn die thermische Nutzung des Grundwassers durch ein flächendeckendes Brunnenfeld erfolgt (siehe hierzu Abbildung 22).

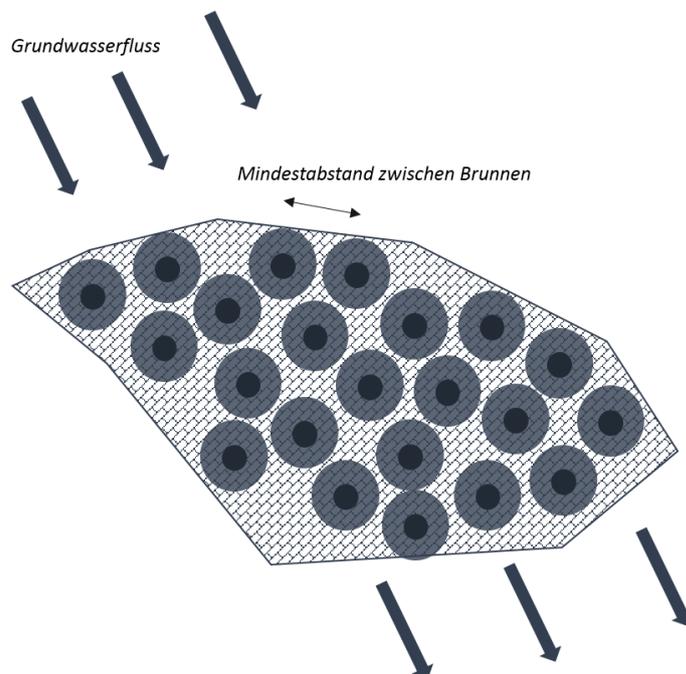


Abbildung 22: Schema eines systematischen, flächendeckenden Brunnenfelds.

In einem ersten Bearbeitungsschritt wurde die maximale Schüttung pro Brunnenpaar gemäß der Vorgehensweise der flächendeckenden Potenzialkarten (vgl. Kapitel 3.2.2) berechnet. Unter einer Vorgabe einer maximalen Temperaturspreizung von 5°C wurde anschließend die Leistung pro Brunnenpaar berechnet. Zur Bemessung der maximal möglichen Anzahl an Brunnenpaaren wurde zunächst der Mindestabstand zwischen zwei Brunnen (d) gemäß Sichard (1928) bemessen:

$$d = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{kf} \quad \text{Gleichung 4.7}$$

Wie anhand der Gleichung 4.7 ersichtlich ist, wird der Grundwasserfluss (mittlere Filtergeschwindigkeit) in dieser Distanzabschätzung vernachlässigt. Zudem wurde zwecks Vermeidung rechnerisch möglicher aber technisch sinnloser Brunnenfelder (große Anzahl an Brunnen mit geringer Schüttung bei sehr geringen Brunnenabständen) ein minimaler Brunnenabstand von 25 Meter als kritische Nebenbedingung eingeführt.

Aus der Bemessung des Brunnenabstands erfolgte schließlich die Berechnung der benötigten Fläche pro Brunnenpaar und darauf basierend die Berechnung der maximal möglichen Anzahl an Brunnenpaaren pro Detailgebiet. Durch Aufsummieren der Einzelleistungen der Brunnenpaare wurde wiederum die technische Gesamtleistung (technisches Maximalpotenzial) berechnet. Die weiteren potenzialbeschreibenden spezifischen Größen (spezifische Jahreswärmearbeit und spezifische Investitionskosten) wurden wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben berechnet.

Abschließend ist festzuhalten, dass die Bemessung des technischen Nutzungspotenzials gemäß thermischen Bilanzierungsansatz die Untergrenze und die Bemessung mittels hydraulischem Ansatz die Obergrenze des Erwartungsbereichs thermischer Grundwassernutzungspotenziale darstellen. Für die betrachteten Detailgebiete wurden zudem in einem abschließenden Bearbeitungsschritt die technisch bereits installierten Maximalleistungen bestehender Nutzungen gemäß dem Wasserbuch aufsummiert und der Auslastungsgrad durch Gegenüberstellung mit den Potenzialen bestimmt.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Geschlossene Wärmetauschersysteme

Die Bemessung der technischen Anwendungspotenziale für geschlossenen Wärmetauschersysteme in den Detailgebieten wurde wiederum für drei unterschiedliche Tiefenbereiche durchgeführt (vgl. Abbildung 23). Im Gegensatz zu den flächendeckenden Potenzialkarten wurden die modellierte Wärmeleitfähigkeiten in thermische Übertragungsleistungen (hier: spezifische Wärmeentzugsleistungen) unter Vorgabe eines Standardnutzungsszenarios übersetzt, wobei vor Allem auf den Einfluss von fließendem Grundwasser in den Detailgebieten Rücksicht genommen werden konnte. Hierbei konnten vor Allem in den Detailgebieten Aspern und Donaufeld gute Wärmetzugsleistungen bestimmt werden. Der Einfluss des oberflächennahen Grundwasserkörpers in diesen Detailgebieten nimmt jedoch mit der Tiefe ab. So zeigen die

berechneten Wärmeentzugsleistungen für den gesamten Tiefenabschnitt bis 300 Meter unter Gelände keinen signifikanten Einfluss des Grundwassers. Die berechneten Gesamtleistungen (technische Maximalpotenziale) sind stark von den jeweiligen Gebietsgrößen und den betrachteten Tiefenbereichen abhängig und befinden sich im Bereich von 3 MW (Nordwestbahnhof, Tiefenbereich bis 30 Meter) und 603 MW (Liesing, Tiefenbereich bis 300 Meter). Die berechneten spezifischen Jahreswärmeleistungen erlauben einen besseren Vergleich der Detailgebiete: Dieser Kennwert liegt in allen Detailgebieten in einem Streubereich von ca. $\pm 20\%$. Die günstigsten Voraussetzungen sind hierbei aufgrund des Einflusses des Grundwassers wiederum in den Detailgebieten Donauefeld und Aspern zu beobachten. Die spezifischen Gesteigungskosten korrelieren wiederum mit der spezifischen Jahreswärmearbeit. Generell ist anzumerken, dass die Nutzung der Geothermie mittels Erdwärmesonden aufgrund der geringen Energiedichte des Systems eine teure Wärmeversorgungsmethode darstellt und ohne Berücksichtigung der Kosten für Wärmepumpen mit spezifischen Investitionskosten von über 1000 EUR / kW zu rechnen sind. Selbst in günstigen Gebieten mit guten Wärmeübertragungsleistungen reduzieren sich die spezifischen Investitionskosten nur um wenige Prozentpunkte.

Potenzial „Geschlossene Wärmetauschersysteme“

Effektive spez. Leistung (W/m)			
Detailgebiet	Tiefenbereich (m u. GOK)		
	0 bis 30	0 bis 100	0 bis 300
Aspern	58	39	39
Donauefeld	63	44	44
Nordwestbahnhof	32	32	38
Nordbahnhof	32	32	38
Liesing	27	31	38

Gesamtleistung Sondenfeld (MW) (Technisches Maximalpotenzial)			
Detailgebiet	Tiefenbereich (m u. GOK)		
	0 bis 30	0 bis 100	0 bis 300
Aspern	21	47	140
Donauefeld	14	33	99
Nordwestbahnhof	3	11	40
Nordbahnhof	4	13	46
Liesing	42	164	603

Spezifische Jahresarbeitsleistung (MWh/Jahr/ha)			
Detailgebiet	Tiefenbereich (m u. GOK)		
	0 bis 30	0 bis 100	0 bis 300
Aspern	275	612	1836
Donauefeld	297	702	2106
Nordwestbahnhof	151	504	1781
Nordbahnhof	151	504	1782
Liesing	124	486	1782

Spezifische Gesteigungskosten (EUR/kW)			
Detailgebiet	Tiefenbereich (m u. GOK)		
	0 bis 30	0 bis 100	0 bis 300
Aspern	902	1324	5881
Donauefeld	788	1152	5133
Nordwestbahnhof	1489	1608	6062
Nordbahnhof	1535	1611	6054
Liesing	1951	1666	6061

Abbildung 23: Übersicht der berechneten maximalen technischen Anwendungspotenziale in den Detailgebieten für geschlossene Wärmetauschersysteme (Erdwärmepumpen).

4.3.2 Thermische Nutzung des obersten Grundwasserkörpers

In sämtlichen Detailgebieten existieren oberflächennahe Grundwasserkörper. Mit Ausnahme des Detailgebiets Liesing befinden sich alle Detailgebiete im Bereich der ausgedehnten Grundwasserkörper des Donaubeleitstroms. Die Detailgebiete Nordbahnhof und Nordwestbahnhof sind von einer künstlichen Grundwasserhaushaltung infolge der Errichtung des Donaukraftwerks Freudenau betroffen. Der Grundwasserkörper im Detailgebiet Liesing liegt in einem minder produktiven Aquifer, der aus den Schotterfächern des Liesingbachs aufgebaut wird.

Die Bewertung der Nutzungspotenziale erfolgte zunächst auf Grundlage der Temperaturverhältnisse in den obersten Grundwasserkörpern. Hierfür wurden die Temperaturganglinien der in den Gebieten erhaltenen Pegel für den Zeitraum der letzten 10 Jahre ausgewertet. In den Gebieten liegen die Mittelwerte der Ganglinien im Bereich von 12.5°C und 14°C, wobei die meisten Pegel einen kontinuierlichen Anstieg der Grundwassertemperatur im Bereich von 0.5°C bis 2°C aufweisen. Im Detailgebiet Liesing erreichen die Spitzenwerte der Grundwassertemperatur bereits über 15°C, was eine maximale Temperaturspreizung von 5°C für Kühlzwecke unter Beachtung einer maximalen Einleitetemperatur von 20°C kritisch erscheinen lässt (vgl. Abbildung 24).

Potenzial „Thermische Grundwassernutzung“									
Detailgebiet	Grundwassertemperatur (°C)					Detailgebiet	Leistung pro Brunnenpaar		
	Anzahl Pegel	Median	Intervall	Schichtung	Trend		Max. Schüttung (l/s)	Max. Leistung (kW)	
Aspern	1	12.5	11.7-13.0	0.5	Zunahme +0.5°C	Aspern Donaufeld Nordwestbahnhof Nordbahnhof Liesing	55.72 41.31 14.67 14.67 0.02	1164 863 307 307 1	
Donaufeld	3	13.4	12.1-14.6	0.7	unterschiedlich, ±0.5°C				
Nordwestbahnhof	4	12.6	11.2-14.4	n.b.	Zunahme [0.5°C - 2°C]				
Nordbahnhof	2	14	12.3-15.4	1.3	Zunahme [0.5°C - 1°C]				
Liesing									
Detailgebiet	Leistungsvergleich: Einseitige Nutzung vs. Wechselseitige Nutzung				Detailgebiet	Wirtschaftlichkeit			
	Einseitige Nutzung (therm. Ansatz)		Wechselseitige Nutzung (hydr. Ansatz)			Investement (Mill. EUR)	Spez. Invest (EUR/kW)		
	Gesamtleistung (MW)	Spez. Jahresarbeit (MWh/Jahr/ha)	Gesamtleistung (MW)	Spez. Jahresarbeit (MWh/Jahr/ha)					
Aspern	0.372	3.751	1.164	15.215	Aspern	0.03	25.77		
Donaufeld	0.251	3.936	0.863	18.362	Donaufeld	0.03	34.76		
Nordwestbahnhof	0.084	3.42	0.307	13.815	Nordwestbahnhof	0.03	97.72		
Nordbahnhof					Nordbahnhof				
Liesing	1.527	4.202	5.622	16.614	Liesing	146.16	25997.87		

Abbildung 24: Übersicht der berechneten maximalen technischen Anwendungspotenziale in den Detailgebieten für die thermische Nutzung des obersten Grundwasserkörpers.

Die berechneten thermischen Anwendungspotenziale bewegen sich in den Detailgebieten zwischen 0.1 MW und 1.2 MW, wobei das Gebiet Liesing rechnerisch eine Ausnahme bildet. Die Bewertung des thermischen Nutzungspotenzials zeigt zudem, dass eine Leistungssteigerung durch einen saisonal thermisch ausgeglichenen Betrieb deutlich gesteigert werden kann. Das

Verhältnis des Nutzungspotenzials zwischen einseitiger und wechselseitiger Betriebsweise liegt im Bereich des Faktors 3 – 4 (siehe Abbildung 24). Der gewählte Ansatz ergab hohe technische Anwendungspotenziale für das Detailgebiet Liesing, die zwar technisch gemäß dem verwendeten Berechnungsansatz möglich sind, jedoch weit über der Wirtschaftlichkeitsgrenze liegen. Aufgrund der mäßigen hydraulischen Eigenschaften des Aquifers ergab die Bemessung gemäß dem hydraulischen Ansatz ein Brunnenfeld mit einer großen Anzahl an Brunnenpaaren, die jedoch mit äußerst geringen Schüttungen behaftet sind. Dies führt in weiterer Folge zu unrealistisch hohen spezifischen Investitionskosten (ca. 26.000 EUR/kW). Für die übrigen Detailgebiete wurden zum Vergleich sehr niedrige spezifische Investitionskosten in der Höhe von 26 bis 98 EUR/kW berechnet.

Auf Grundlage der erhaltenen Stammbblätter der Wasserbuchauszüge wurde die maximal gemäß bewilligten Konsens abgeschätzten Leistungen der bereits installierten Anlagen aufsummiert und dem Potenzial gegenüber gestellt. Hieraus lässt sich der thermischer Auslastungsgrad berechnen (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Übersicht des Auslastungsgrads der thermischen Grundwassernutzung in den Detailgebieten.

Detailgebiet	Auslastungsgrad	
	Einseitige Belastung (thermischer Ansatz)	Wechselseitige Nutzung (hydraulischer Ansatz)
Liesing	<1%*	<1%*
Aspern	13.9%	3.4%
Nordbahnhof, Nordwest- bahnhof	67%	16.8%
Donaufeld	21.6%	4.6%

* Der Auslastungsgrad bezieht sich auf das errechnete hypothetische Nutzungspotenzial.

Für die Bemessung des Auslastungsgrads wurden neben den in den Detailgebieten installierten Nutzungen auch jene Nutzungen berücksichtigt, die im Zustrom oder Abstrombereich des Detailgebiets liegen. In allen Detailgebieten werden bereits Anteile des thermischen Grundwasserpotenzials genutzt, wobei der Auslastungsgrad in den Arealen des Nordbahnhofs und Nordwestbahnhofs bei Betrachtung des thermischen Bewertungsansatzes bereits über 50% liegt.

4.3.3 Systemvergleich

Die thermische Nutzung des Grundwassers besitzt gegenüber der Nutzung mittels geschlossener Wärmetauschersysteme den Vorteil höherer Leistungen und damit geringerer spezifischer Investitionskosten. Dem gegenüber steht der größere Platzbedarf von Brunnenpaaren bei den diesen Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu Grunde liegenden Brunnenleistungen. Durch die Variation der Schüttungen der Einzelbrunnen eines Brunnenfelds lassen sich die

Gesamtleistung des Feldes und die spezifischen Gesteungskosten variieren. Dies soll am Beispiel des Detailgebiets Aspern demonstriert werden (vgl. Abbildung 25).

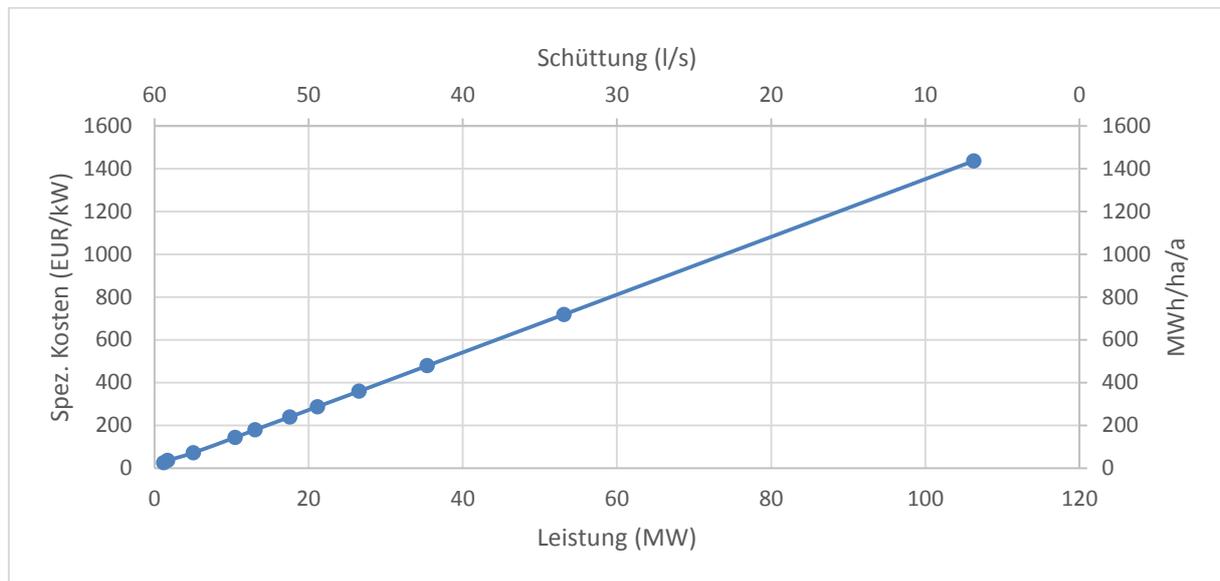


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Leistung – spezifischen Gesteungskosten und spezifischer Wärmearbeit am Beispiel der thermischen Grundwassernutzung im Detailgebiet Aspern.

Die Gesamtleistung eines Brunnenfelds lässt sich durch Senkung der Schüttung pro Brunnenpaar und somit durch Erhöhung der Gesamtanzahl aller Brunnenpaare steigern und erreicht schließlich die spezifische Jahreswärmearbeit einer Erdwärmepumpen Nutzung. Im gleichen Umfang erhöhen sich die spezifischen Investitionskosten durch die steigende Anzahl an Brunnen, wodurch sich die Kosten an jene der Erdwärmepumpen Anwendungen anpassen.

Es kann somit abschließend gefolgert werden, dass sich die theoretischen Leistungs- und Kostencharakteristika der Erdwärmepumpen und Grundwasser Nutzungen sehr ähneln. Die thermische Grundwassernutzung besitzt den Vorteil geringerer Anschaffungskosten bei geringerer Leistungsdichte, ist jedoch auf die Produktivität der genutzten Grundwasserkörper beschränkt. Aus diesem Grund kann generell bei Vorhandensein aller Nutzungsvoraussetzungen keine eindeutige Empfehlung hinsichtlich einer bestimmten Anwendungsform ausgesprochen werden. Die Praxis in großen geothermischen Nutzungsanlagen zeigt, dass eine Kombination aus Erdwärmepumpen- und Grundwassernutzungen in vielen Fällen am sinnvollsten ist, zumal dadurch unterschiedliche Aspekte der Gebäudekonditionierung (z.B. Wärmespeicherung) mit verschiedenen geothermischen Methoden bedient werden können.

4.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Analysen für die fünf Detailgebiete stellen lediglich die Abgrenzung technischer Maximalpotenziale dar. Zum Zeitpunkt der Studie WC-31 lagen zu wenige Informationen hinsichtlich der Bebauungspläne und der Wärmeabnehmer in den Detailgebieten für eine

eingehendere Bewertung vor. Der ausgearbeitete Ansatz lässt sich jedoch in weiterer Folge bei Vorliegen spezifischer Angaben zu den Wärme- bzw. Kälteabnehmern in den Detailgebieten für die Dimensionierung der geothermischen Wärmeversorgung heranziehen. Aus gegenwärtiger Sicht ist in allen Detailgebieten mit Ausnahme des Gebiets Liesing eine kombinierte Nutzung aus Erdwärmepumpen Anwendungen und Wasser -Wasser Wärmepumpen zu favorisieren. Im Detailgebiet Liesing sind aufgrund der geringen Produktivität des Grundwasserleiters geschlossene Wärmetauscher Systeme zu empfehlen.

5 METADATENDOKUMENTATION UND LIEFERUNG VON ERGEBNISSEN

Laut Vereinbarung sollen die Ergebnisse des Projektes in digitaler Form samt Metadatendokumentation auf dem Datenträger geliefert werden. Es wurde entschieden die Daten in einem ESRI® PGDB (Personal Geodatabase) zu liefern. Diese Formate können von ESRI® -ArcGIS Produktgruppe gelesen und dargestellt werden.

Für die Öffentlichkeit sollte eine so genannte „Externe Version“ vorbereitet werden. Dieser Datensatz enthält nur die für die ViennaGIS - Darstellung notwendigen Informationen. Für den internen Gebrauch der MA20 wird eine detailliertere Version vorbereitet – so genannte „Interne Version“.

Für die beiden Datensätze wird eine separate Metadatenbeschreibung geliefert. Diese Beschreibungen basieren auf einer von der Stadt Wien übermittelten Vorlage (Basisattributliste der Metadatenbank für Geodaten des Magistrat Wien).

Alle Daten werden auf der CD in einem Ordner „Geodatenlieferung“ geliefert (Abbildung 26). Den Inhalt bilden drei Unterverzeichnisse (GIS_Layers, Metadaten; ViennaGIS), zwei ESRI® Personal Geodatabases im ArcGIS 10.1 – Format (Ergebnisse_Extern_PGDB.mdb, Ergebnisse_Intern_PGDB.mdb) und drei ESRI® ArcMap Dokumente (Ergebnis_Erdwärmesonden.mxd, Ergebnis_Thermische_GW_Nutzung.mxd, ERGEBNIS_Intern.mxd).

Name	Typ
GIS_Layers	Dateiordner
Metadaten	Dateiordner
ViennaGIS	Dateiordner
Ergebnis_Erdwärmesonden.mxd	ArcGIS ArcMap Document
Ergebnis_Intern.mxd	ArcGIS ArcMap Document
Ergebnis_Thermische_GW_Nutzung.mxd	ArcGIS ArcMap Document
Ergebnisse_Extern_PGDB.mdb	Microsoft Access Database
Ergebnisse_Intern_PGDB.mdb	Microsoft Access Database

Abbildung 26: Inhalt des Ordners „Geodatenlieferung“

Eine Personal Geodatabase (PGDB) ist eine Microsoft® Access Datenbank mit mehreren ArcGIS System-, und Datentabellen (Abbildung 27). Die Datentabellen bilden so genannten GIS-Layers. Im Falle der „externen“ Datei (Ergebnisse_Extern_PGDB) sind das die Layers „Erdwärmesonden“ und „Thermische_GW_Nutzung“. Für die „internen“ Ergebnisse werden Erdwärmesonden zusätzlich auf „Erdwaermesonden_mit_Wasser“ und „Erdwaermesonden_ohne_Wasser“ unterteilt und mit Zusatzinformationen ausgestattet. Die Layers „Homogenbereiche“ und „Hydrogeologie“ werden bei der „internen“ Version zusätzlich geliefert.

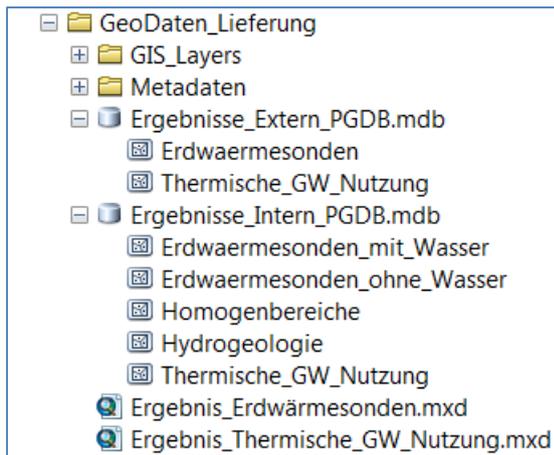


Abbildung 27: ESRI® ArcCatalog – Struktur der GIS-Daten der Geodatenlieferung

Das Unterverzeichnis „GIS_Layers“ beinhaltet die Daten samt der graphischen Darstellung und der Legende (Abbildung 28). Pro Informationsebene gibt es eine separate „.lyr“ – Datei. Diese Layers sind auch in den Ergebnisdateien (*.mxd) enthalten.

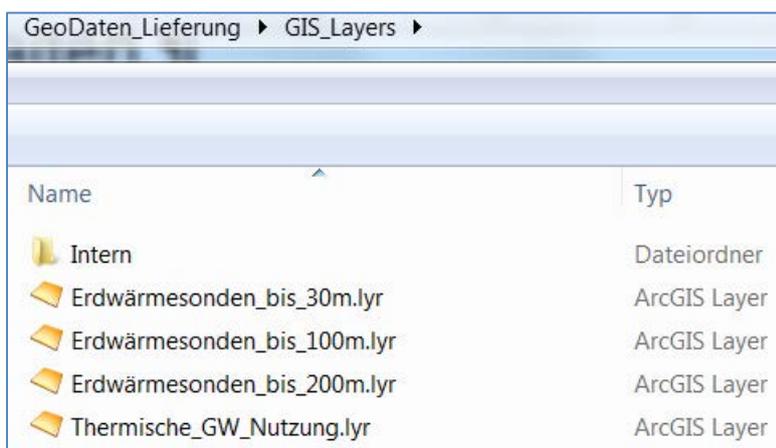
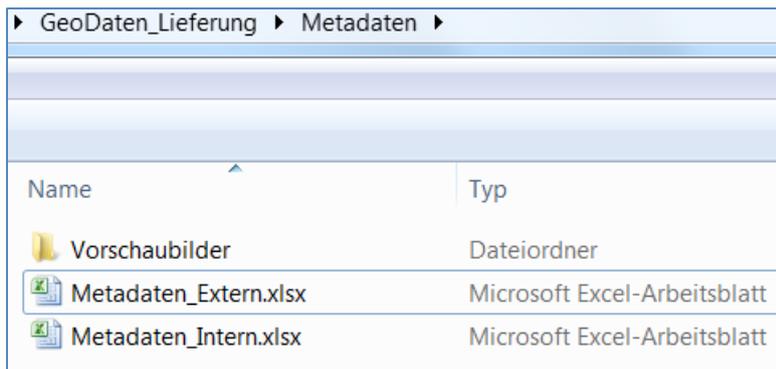


Abbildung 28: Inhalt des Unterverzeichnisses „GIS_Layers“

Laut Basisattributliste der Metadatenbank für Geodaten des Magistrat Wien sollten folgenden Attribute als Mindestinhalt zu jedem Datensatz dokumentiert werden:

- Kategorie/Thema
- Geodatenname
- Kurzfassung
- Fachlich zuständige Kontaktstelle (Ansprechperson)
- Vorschaubild (100x100 und 300x300 Pixel)
- Revisionsdatum
- Wartungsintervalle
- Informationen zur Datenqualität
- Referenzmaßstab
- Verknüpfbarkeit
- WIWG-relevant
- Wr. UIG-relevant
- Nutzungsbedingungen
- Metadatenverfügbarkeit
- Beschreibung der Attribute
- Rechtliche Zuständigkeit
- Speicherort

Diese Informationen wurden in Form von zwei Excel-Dateien geliefert die sich im Unterverzeichnis „Metadaten“ befinden (Abbildung 29). Jede dieser Dateien beinhaltet mehrere Tabellenblätter, in denen die einzelne interne/externe Datensätze beschrieben worden sind. Zu den externen Layers gibt es zusätzlich noch Vorschaubilder in der Größe 100x100 und 300x300dpi (Unterverzeichnis „Vorschaubilder“).



Name	Typ
Vorschaubilder	Dateiordner
Metadaten_Extern.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt
Metadaten_Intern.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt

Abbildung 29: Inhalt des Unterverzeichnisses „Metadaten“

Es wurden drei ArcMap® – Projekte erstellt um die Daten zu visualisieren:

- **Ergebnis_Thermische_GW_Nutzung.mxd** – Einteilung der thermischen Leistung in 4 Klassen samt Erläuterungen – externe Version (Abbildung 30)

- **Ergebnis_Erdwärmesonden.mxd** – drei Darstellungsmöglichkeiten der konduktiven Wärmeleitfähigkeit je nach Sondentiefe (bis 30, 100 und 200 m unter GOK) – externe Version (Abbildung 31)
- **Ergebnis_Intern** – sämtliche interne Layers zusammengefasst (Abbildung 32)

Die Hintergrundkarten der beiden Projekte (Topographie, Grenzen, Schummerung) sind OGD (Open Government Data) Daten der Stadt Wien. Die Downloads der Daten wurden für das Projekt zusätzlich im Unterverzeichnis „**ViennaGIS**“ mitgeliefert (ArcGIS Shapefiles und Grids).

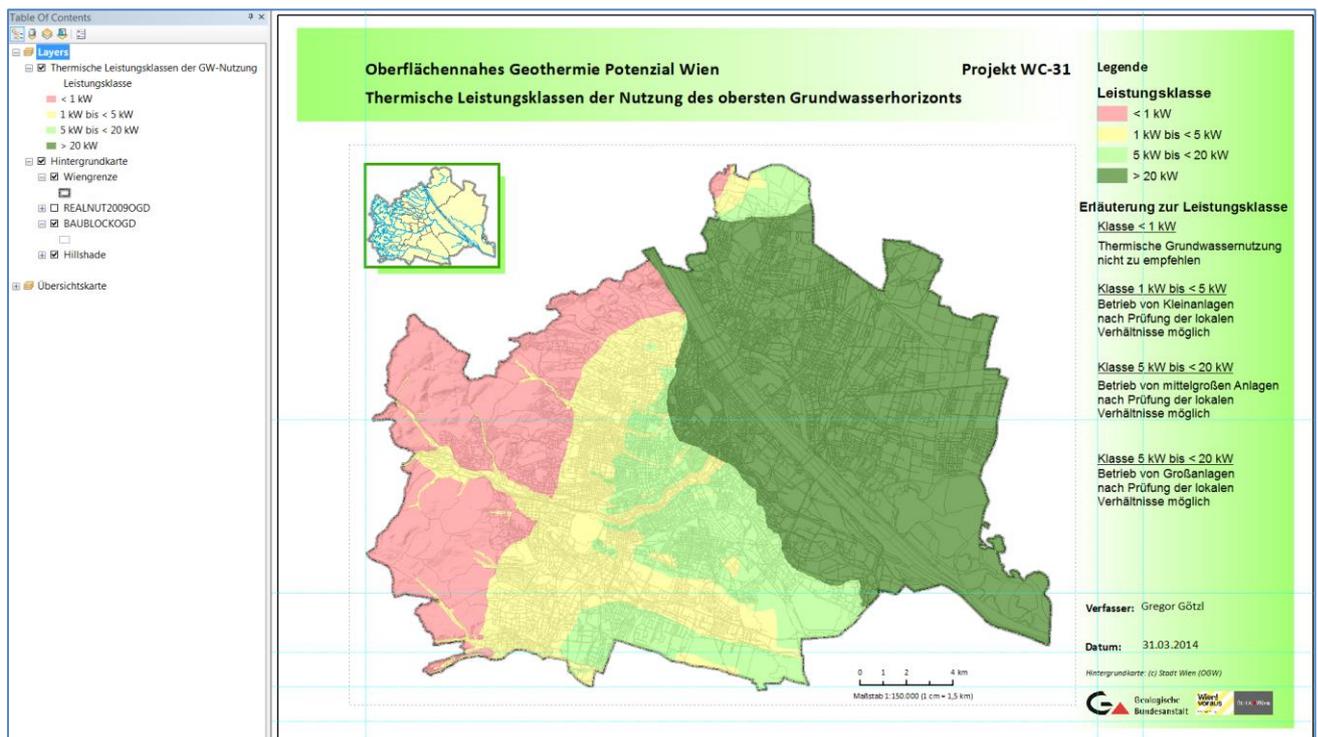


Abbildung 30: ArcMap® - Applikation „Ergebnis_Thermische_GW_Nutzung.mxd“

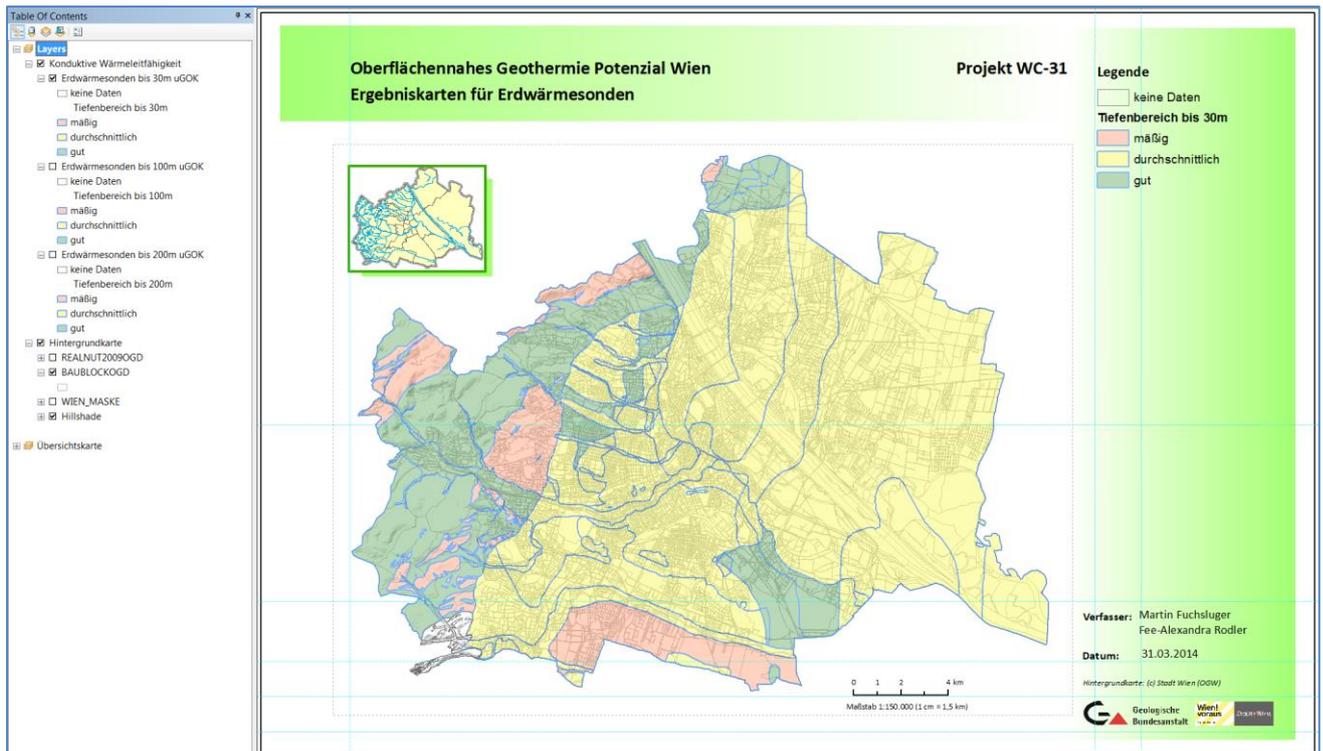


Abbildung 31: ArcMap® - Applikation „Ergebnis_Erdwärmesonden.mxd“

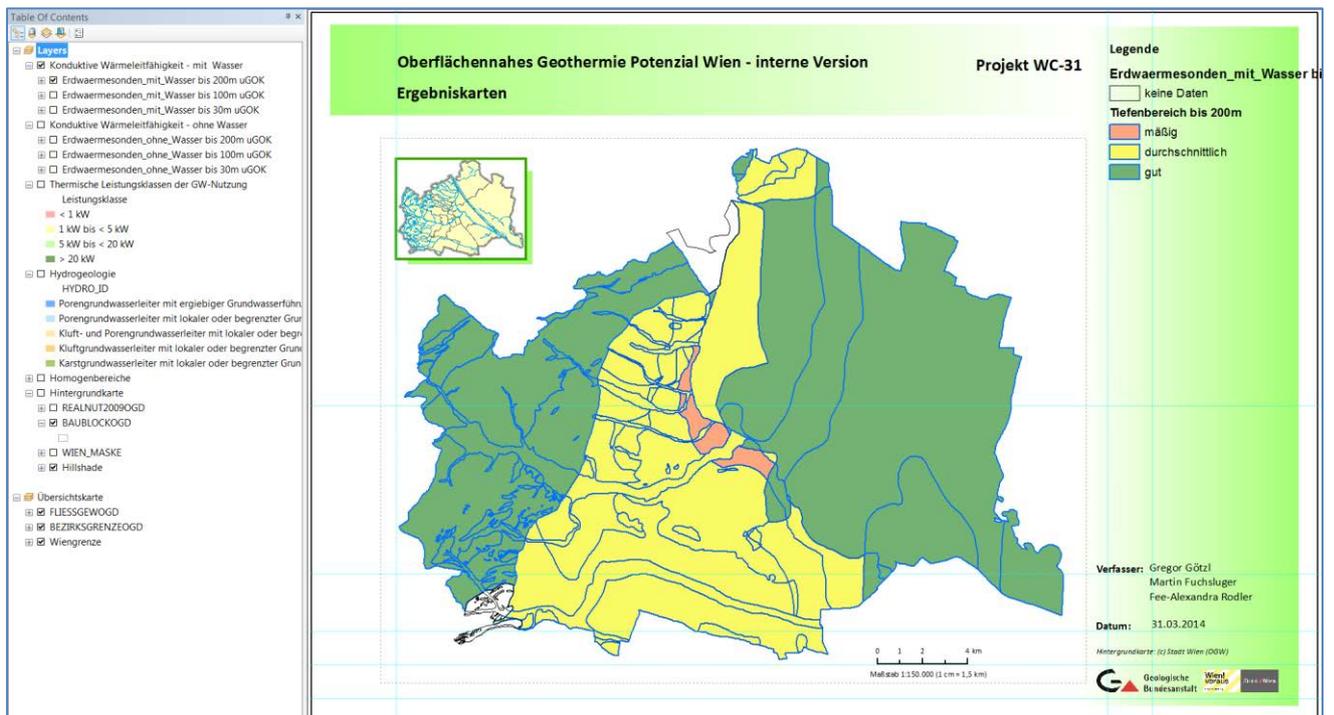


Abbildung 32: ArcMap® - Applikation „Ergebnis_Intern.mxd“

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Im nachfolgenden Kapitel wird eine Bewertung des Projekts WC-31 im Hinblick auf die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse und weiterer notwendige Arbeitsschritte hinsichtlich des Aufbaus eines modernen Bewirtschaftungssystems oberflächennaher geothermischer Anwendungen in Wien (vgl. Abbildung 33) durchgeführt.

Im Allgemeinen basieren Ressourcenmanagement Systeme auf drei grundsätzlichen Säulen:

- i. Informationsportale für Bürger und Behörden auf Grundlage belastbarer Basisdaten und Modelle
- ii. Regionale Planungstools unter Berücksichtigung bestehender Nutzungen
- iii. Laufendes Monitoring

Im Hinblick auf die Nutzung oberflächennaher geothermischer Ressourcen sind die Säulen (ii) und (iii) vor Allem für die Nutzung des obersten Grundwasserkörpers in jenen Teilen Wiens von Bedeutung, die relevante Potenziale aufweisen und bereits eine gewissen Nutzerdichte aufweisen. Dies gilt in erster Linie für die Gebiete des 2., 20. 21. Und 22. Bezirks.

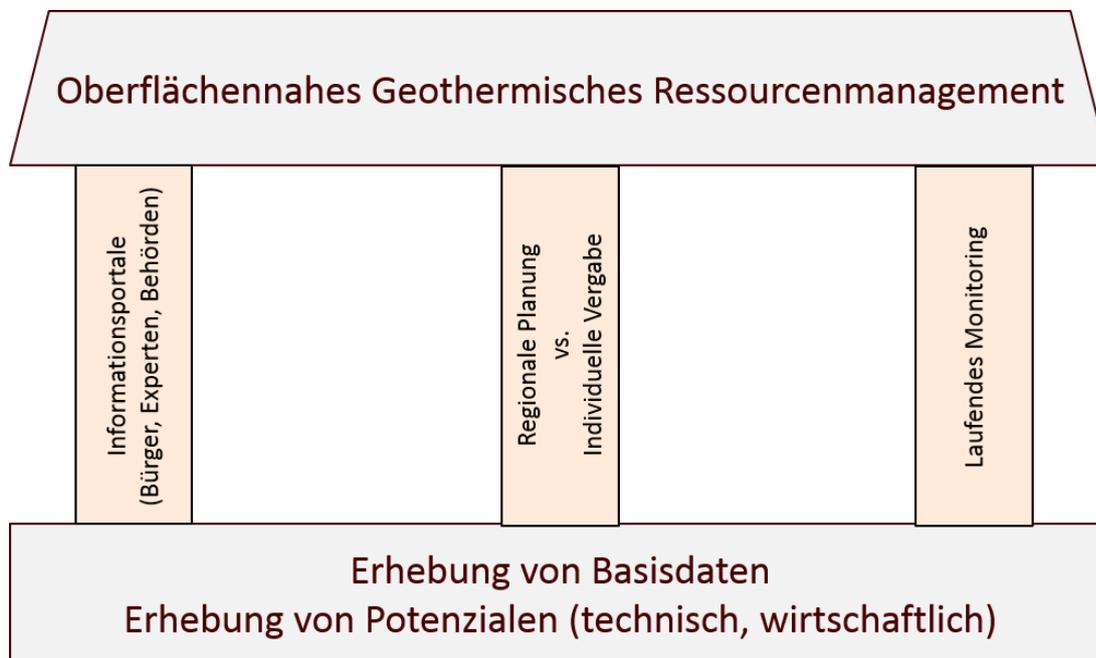


Abbildung 33: Stark generalisiertes Schema eines Ressourcenmanagementsystems oberflächennaher geothermischer Anwendungen.

Das Projekt WC-31 lieferte wichtige Grundlagen für die Säule (i) des Ressourcenmanagementsystems, wobei sich die erzielten Ergebnisse aufgrund des Darstellungsmaßstabs von 1:25.000 vorrangig an interessierte Bürger richten. Die Analysen der Detailgebiete richten sich hingegen an Planungsorgane.

6.1 Flächendeckende Potenzialkarten

Die Flächendeckenden Potenzialkarten im Maßstab 1:25.000 basieren auf noch auf stark generalisierten Vorgehensweisen auf Grundlage bestehender geologischer Homogenbereiche. Die im Rahmen der kurzen Bearbeitungsdauer des Projekts WC-31 zur Verfügung gestellten Daten der involvierten Magistratsabteilungen ließen eine räumlich besser auflösende Vorgehensweise noch nicht zu.

Eine Verbesserung des Auflösungsvermögens kann in zukünftigen Bearbeitungsmodulen durch folgende Arbeitsschritte gewährleistet werden:

- Erhebung weiterer Bohrprofile der MA29 für eine Verdichtung der Wärmeleitfähigkeitsprognose und der Erstellung Raster basierter Potenzialkarten für geschlossene Wärmetauscher Systeme.
- Erhebung weiterer Grundwassertemperatur Ganglinien für eine Bemessung des thermischen Zustandes der wichtigsten Grundwasserkörper im Raum Wien.
- Erhebung und systematische Aufarbeitung von kf-Werten zur Verbesserung der Bemessung von hydraulischen Brunnenleistungen. Dies ermöglicht räumlich besser auflösende Potenzialkarten der thermischen Grundwassernutzung.
- Erhebung weiterer Stammbblätter des Wasserbuchs zu Nutzungen außerhalb der Detailgebiete für eine Validierung der Potenzialkarten der thermischen Grundwassernutzung.

Neben der Verbesserung der Datengrundlage der Potenzialkarten gäbe es auch die Möglichkeit die Aussagekraft der Potenzialkarten durch Einbringung interaktiver Elemente zu verbessern. Dies umfasst die Übersetzung des geogenen Standortparameters Wärmeleitfähigkeit in die Systemkenngröße „Wärmeübertragungsleistung“. Hierfür müssten im Falle einer interaktiven Webanwendung Angaben eines potenziellen Nutzers zu der Betriebsweise der geplanten geothermischen Nutzung (Erdwärmepumpe) getätigt werden. Die Umrechnung könnte auf Grundlage des Berechnungsansatzes der Sia 348/6 erfolgen.

6.2 Detailgebiete

Die Verbesserung des Kenntnisstands in den Detailgebieten kann im Hinblick auf folgende Zielsetzungen erfolgen:

1. Vertiefende Anwendungsplanung geothermischer Nutzungen in den Stadterweiterungsgebieten.
2. Entwicklung eines Pilotsystems der thermischen Grundwasserbewirtschaftung

Ad 1: Energieversorgungsplanung in den Detailgebieten

Die Bemessung der geothermischen Anwendungspotenziale erfolgte im Rahmen des Projekts WC-31 nur in Form von maximal erwartbaren technischen Potenzialen, da spezifische Angaben zu den geplanten Wärmeabnehmern fehlten. Der im Rahmen von WC-31 ausgearbeitete Workflow ließe sich in weiterer Folge direkt für die Optimierung geothermischer Anwendungen in den Detailgebieten heranziehen, da dieser Ansatz neben einer technischen- bereits auch eine wirtschaftliche Beurteilung der Nutzungen berücksichtigt. Für eine Präzisierung der Planung müssten Angaben über Bebauung sowie Wärmelastkurven zur Verfügung gestellt werden.

Ad 2: Thermische Grundwasserbewirtschaftung

Wie bereits eingangs dieses Berichts erwähnt ist die Bewertung von eingereichten Nutzungen nach dem First „Come First Serve“ Prinzip aber einer kritischen Nutzungsdichte nicht mehr zielführend. Ein modernes Verwaltungs- und Bewirtschaftungskonzept basiert auf folgenden Maßnahmen:

- Aufbau eines hydraulisch- thermischen Regionalmodells des Grundwasserkörpers für Gebiete mit hohem Nutzungsgrad. Dieses Regionalmodell sollte das Resultat einer zeitabhängig gekoppelt thermisch.- hydraulischen Modellrechnung darstellen und alle bestehenden Nutzungen integrieren. Bei Ansuchen einer zusätzlichen Nutzung wird diese in das bestehende Modell integriert und die zu erwartenden Auswirkungen simuliert. Darauf basierend könnte anschließend die Bemessung des Genehmigungsumfangs erfolgen.
- Gekoppelt thermisch- hydraulische Regionalmodelle können durch gezielte Monitoringmaßnahmen validiert und gegebenenfalls angepasst werden. Hierbei sollte der thermische und hydraulische Zustand des Grundwasserkörpers durch möglichst automatisch registrierende Sensoren überwacht werden. Die optimierten Lagen der Beobachtungspegel können ebenfalls im Rahmen von Sensitivitätsanalysen aus dem hydraulisch- thermischen Modell abgeleitet werden.

Wien, 12.05.2014

gez. Gregor Götzl (Projektleitung GBA)

BEILAGENVERZEICHNIS

Anhang 1	Auswertung Bodentemperaturen
Anhang 2	Look-Up Tabelle Wärmeleitfähigkeitsmodelle
Anhang 3	Statistische Auswertung der Wärmeleitfähigkeitsmodelle für die geologischen Homogenbereiche
Anhang 4	Vergleich der Wärmeleitfähigkeitsmodelle mit

TRT Messungen

Beilage 1	Oberflächennahes Geothermie Potenzial, Ergebniskarten für Erdwärmesonden, Tiefenbereich bis 30 Meter
Beilage 2	Oberflächennahes Geothermie Potenzial, Ergebniskarten für Erdwärmesonden, Tiefenbereich bis 100 Meter
Beilage 3	Oberflächennahes Geothermie Potenzial, Ergebniskarten für Erdwärmesonden, Tiefenbereich bis über 200 Meter
Beilage 4	Oberflächennahes Geothermie Potenzial, Thermische Leistungsklassen der Nutzung des obersten Grundwasserhorizonts

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Übersicht der erfassten aktiven Geothermie Anwendungen in Wien.....	5
Abbildung 2:	Übersichtsschema der betrachteten geothermischen Anwendungssysteme.	8
Abbildung 3:	Lage der ausgewählten Bohrungen des Baugrundkatasters (rote Sterne) sowie der erhobenen Thermal Response Tests (weiße Punkte).....	17
Abbildung 4:	Verteilung der Tiefenklassen der Bohrungsauswahl MA29.	17
Abbildung 5:	Gegenüberstellung des Grundwasserzonierungsplans mit den hydrogeologischen Homogenbereichen in Wien.....	19
Abbildung 6:	Zur Verfügung gestellte Datengrundlage des Hydrografischen Diensts.	20
Abbildung 7:	Bodentemperaturmessstationen auf vereinfachter geologischer Karte mit Angaben der Meereshöhe und des Beginn der Messdatenerhebung.	23
Abbildung 8:	Lage der vorhandenen und zur Verfügung gestellten hydrografischen Daten der Firmen Pöyry Energy GmbH und Verbund Hydropower AG.	24
Abbildung 9:	Workflow zur Erstellung von Wärmeleitfähigkeitskarten.	27
Abbildung 10:	Übersichtskarte der geologischen Homogenbereiche.....	29
Abbildung 11:	Erster Wasserzutritt, Geländeoberkante und Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone.	31
Abbildung 12:	Methodenvergleich wassergesättigte Profile, Tiefenbereich bis 30 Meter.	33
Abbildung 13:	Methodenvergleich wassergesättigte Profile, Tiefenbereich bis 100 Meter.	34

Abbildung 14:	Methodenvergleich wassergesättigte Profile, Tiefenbereich bis größer 200 Meter.	35
Abbildung 15:	Methodenvergleich teilgesättigte Profile, Tiefenbereich bis 100 Meter.	36
Abbildung 16:	Vergleich zwischen den Ergebnissen aus Thermal Response Tests (TRT) mit modellierten Wärmeleitfähigkeiten aus benachbarten Bohrprofilen (BP).	38
Abbildung 17:	Workflow zur Bewertung der Anwendungspotenziale thermischer Grundwassernutzungen im Rahmen des Projekts WC-31.	43
Abbildung 18:	Flächendeckende Potenzialkarte der thermischen Grundwassernutzung, kombiniert mit den Einzelbemessungen.	45
Abbildung 19:	Gesamtpotenzial im Wiener Landesgebiet aus der Kombination der Potenzialkarten für 100 Meter lange Erdwärmesonden und für die thermische Nutzung des obersten Grundwasserkörpers.	47
Abbildung 20:	Lageübersicht der Detailgebiete in Kombination mit der Angabe der Flächengröße und der Anzahl der bestehenden Nutzungen.	48
Abbildung 21:	Allgemeines Schema der natürlichen Energiebilanz eines Grundwasserkörpers	52
Abbildung 22:	Schema eines systematischen, flächendeckenden Brunnenfelds.	53
Abbildung 23:	Übersicht der berechneten maximalen technischen Anwendungspotenziale in den Detailgebieten für geschlossene Wärmetauschersysteme (Erdwärmepumpen).	55
Abbildung 24:	Übersicht der berechneten maximalen technischen Anwendungspotenziale in den Detailgebieten für die thermische Nutzung des obersten Grundwasserkörpers.	56
Abbildung 25:	Zusammenhang zwischen Leistung – spezifischen Gesteinskosten und spezifischer Wärmearbeit am Beispiel der thermischen Grundwassernutzung im Detailgebiet Aspern.	58
Abbildung 26:	Inhalt des Ordners „Geodatenlieferung“	59
Abbildung 27:	ESRI® ArcCatalog – Struktur der GIS-Daten der Geodatenlieferung	60
Abbildung 28:	Inhalt des Unterverzeichnisses „GIS_Layers“	60
Abbildung 29:	Inhalt des Unterverzeichnisses „Metadaten“	61
Abbildung 30:	ArcMap® - Applikation „Ergebnis_Thermische_GW_Nutzung.mxd“	62
Abbildung 31:	ArcMap® - Applikation „Ergebnis_Erdwärmesonden.mxd“	63
Abbildung 32:	ArcMap® - Applikation „Ergebnis_Intern.mxd“	63
Abbildung 33:	Stark generalisiertes Schema eines Ressourcenmanagementsystems oberflächennaher geothermischer Anwendungen.	64

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht der geplanten und realisierten Aufgabenschritte.....	10
Tabelle 2: Übersicht der Lage und Tiefenverteilung der ausgewählten Bohrungen des Baugrundkatasters bezogen auf geologische Homogenbereiche der Stadt Wien.	16
Tabelle 3: Übersicht der Messstationen in Wien und Umgebung mit Standortangaben. ..	22
Tabelle 4: Messtiefe der Temperatursensoren pro Station.....	22
Tabelle 5: Tabellarische Übersicht der thermischen Leistungsabschätzung für die 14 hydrogeologischen Homogenbereiche im Wiener Landesgebiet.	44
Tabelle 6: Klasseneinteilung der flächendeckenden Potenzialkarte für die thermische Nutzungen des obersten Grundwasserkörpers.....	44
Tabelle 7: Übersicht des Auslastungsgrads der thermischen Grundwassernutzung in den Detailgebieten.	57

LITERATURNACHWEIS

- BOROVICZÉNY, F., DEÁK, J., LIEBE, P., MAHLER, H., NEPPEL, F., PAPESCH, W., PINCZÉS, J., RAINER, V., RANK, D., REITINGER, J., SCHMALFUß, R. & TAKÁTS, T. (1992): Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geophysik und Geochemie. 1980-1990. – Forschungsbericht, 16, Institut für Hydrologik, Gewässerkunde & Wasserwirtschaft der TU Wien, Wien.
- BRIX, F. & PLÖCHINGER, B. (Bearbeiter) (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1: 50.000. 76 Wiener Neustadt. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PFLEIDERER, S. & HOFMANN, T. (2004): Digitaler angewandter Geo-Atlas der Stadt Wien - Projekt WC 21, HYDRO-Modul (Pilotphase), Endbericht – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- WGM (2013): Angewandte hydrogeologische Forschung - Stadtgebiet Wien, Teilgebiet 2013: Liesing; i.A. der MA 45 – Wiener Gewässer (unveröffentlicht)