



Benjamin Franklin Village, Mannheim

**Analyse der Geo- und Hydrogeologie als
Grundlage für die Anwendung
oberflächennaher Geothermie**

**für die Teilflächen 1 bis 6
des Bebauungsplans 71.47**

Projekt-Nr.: **105689**

Bericht-Nr.: **02**

Erstellt im Auftrag von:
MWSP Mannheim
Projektentwicklungsgesellschaft
Ulmenweg 7
68167 Mannheim

Dipl.-Geol. Alexander Eber,
Dipl.-Geol. Hans-Peter Purgahn

2015-05-05

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1	VORBEMERKUNG UND AUFGABENSTELLUNG 4
2	UNTERLAGEN 4
3	GEOLOGISCHE-HYDROGEOLOGISCHE STANDORTSITUATION 5
3.1	Ungesättigte Bodenzone 6
3.2	Gesättigte Bodenzone 8
3.3	Trinkwasserschutzgebiet 11
3.4	Grundwassersanierung Käfertaler Wald 12
4	RECHNERISCHE ABSCHÄTZUNG DES GEOTHERMISCHEN VERSORGUNGSPOTENTIALS 14
4.1	Objektspezifisches Potential..... 14
4.2	Standortpotential..... 17
5	ZUSAMMENFASSUNG, BELASTBARKEIT DER DATENBASIS UND EMPFEHLUNGEN..... 19

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite
Abbildung 3.1 Hydrogeologischer Längsschnitt L3 der Hydrogeologischen Kartierung Rhein-Neckar-Raum, [U3]	6
Abbildung 3.2 Bodenprofil der Grundwassermessstelle GWMT-1/08; ungesättigte Bodenzone	7
Abbildung 3.3 Bodenprofil der Grundwassermessstelle GWMT-3/08; ungesättigte Bodenzone	8
Abbildung 3.4 Bodenprofil der Grundwassermessstelle MLP1/1	9
Abbildung 3.5 Grundwassergleichenplan Projektgebiet aus [U5]	10
Abbildung 4.1 Variante 1 Einfamilienhaus	15
Abbildung 4.2 Variante 2 Gewerbeimmobilie	17
Abbildung 4.3 Bilanzberechnung konvektiver Energietransport über das Grundwasser	18

TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Tabelle 3.1 Aufbau des OZH in den 2008/2009 abgeteufte Bohrungen, aus [U5]	11

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1	Lagepläne
Anlage 1.1	Übersicht Projektgebiet, Lage Trinkwasserschutzgebiet
Anlage 1.2	Grundwassersanierung, Strömungsbild, Einschränkungen für geothermische Nutzungen
Anlage 1.3	Nutzung oberflächennaher Geothermie; Optionen für das Benjamin Franklin Village

1 VORBEMERKUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Die MWSP Mannheim ist Projektentwickler bei der Konversion der ehemaligen militärischen Liegenschaft Benjamin Franklin Village in Mannheim-Käfertal. Im Kontext der Entwicklung der Fläche war eine geologisch-hydrogeologische Standortanalyse zu den Möglichkeiten des Einsatzes oberflächennaher Geothermie durchzuführen. Diese Standortanalyse ist im nachfolgenden Bericht dokumentiert. Weiterhin betrachtet der Bericht die wasserrechtlichen Rahmenbedingungen die sich durch das Trinkwasserschutzgebiet Käfertaler Wald sowie einer großräumigen Grundwassersanierung ergeben.

Die MWSP Mannheim beauftragte mit Schreiben vom 26.02.2015 die CDM Smith Consult GmbH mit der Erstellung der Standortanalyse, die mit diesem Bericht vorgelegt wird

2 UNTERLAGEN

- [U1] Bebauungsplan Nr. 71.47 „Benjamin Franklin Village“ der Stadt Mannheim, Maßstab = 1 : 5.000, Stadt Mannheim
- [U2] Lageplan, Benjamin Franklin Village, Franklin Mitte, Verortung der Investoren, Stand: 05.03.2015, MWSP Mannheim
- [U3] Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum, Fortschreibung 1983 – 1998, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg; Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Stuttgart, Wiesbaden, Mainz, 1999
- [U4] Grundwassermessstellenpässe, Messstellen GWMT-1/08, GWMT-3/08, MLP1/1; ARCADIS, 2014
- [U5] Grundwasserverunreinigung im Vorfeld des Wasserwerkes Mannheim-Käfertal, Sanierungsuntersuchung, Arcadis Deutschland GmbH, 31.01.2012
- [U6] Sanierungsplanung, Grundwasserverunreinigungen im Vorfeld des Wasserwerkes Mannheim-Käfertal, 31.10.2013, CDM Smith
- [U7] Verordnung des Regierungspräsidiums Karlsruhe zur Änderung der Verordnung des Regierungspräsidiums Karlsruhe vom 3. November 1977 (GBl. 1978, S. 70) zuletzt geändert durch Änderungsverordnung vom 3. März 1997 (GBl. S. 163) zum Schutz des Grundwassers im Einzugsgebiet der Wassergewinnungsanlage „Mannheim-Käfertal“ (früher: „Käfertaler Wald“) vom 19.05.2009
- [U8] WHG; Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 15. November 2014 (BGBl. I S. 1724) geändert worden ist

- [U9] Thermische Nutzung des Untergrundes. Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte - VDI-Richtlinie 4640 Teil 1, 06.2010
- [U10] Thermische Nutzung des Untergrundes. Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen - VDI-Richtlinie 4640 Teil 2, 09.2001
- [U11] Technische Regeln für Arbeitsstätten, ASR A3.5 – Raumtemperatur, 2014
- [U12] VBI-Leitfaden Oberflächennahe Geothermie, 3. Auflage 03/2012
- [U13] Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden, Umweltministerium Baden-Württemberg, 05/2005

3 GEOLOGISCHE-HYDROGEOLOGISCHE STANDORTSITUATION

Die Lage des Projektgebiets im Stadtgebiet Mannheim ist im Übersichtslageplan der Anlage 1.1 dargestellt. Der Übersichtslageplan zeigt ebenfalls das Trinkwasserschutzgebiet Mannheim-Käfertal.

Das Projektgebiet liegt geologisch betrachtet im nördlichen Oberrheingraben. Die quartäre Grabenfüllung ist gekennzeichnet durch mächtige fluviale Sedimentablagerungen des Rheins. Entsprechend den Klima- und Sedimentationsbedingungen wechseln sich grobkörnigere sandig-kiesige Schichtpakete mit feinkörnigeren schluffig-tonigen Schichten (Zwischenhorizonten) ab.

Dadurch ergibt sich im Raum Mannheim eine lithologische Gliederung in ein Oberes, Mittleres und Unteres Kieslager (OKL, MKL und UKL) bzw. in einen Oberen, Mittleren und Unteren Grundwasserleiter (OGWL, MGWL und UGWL), wie dies in der nachfolgenden Abbildung 3.1 schematisch dargestellt ist.

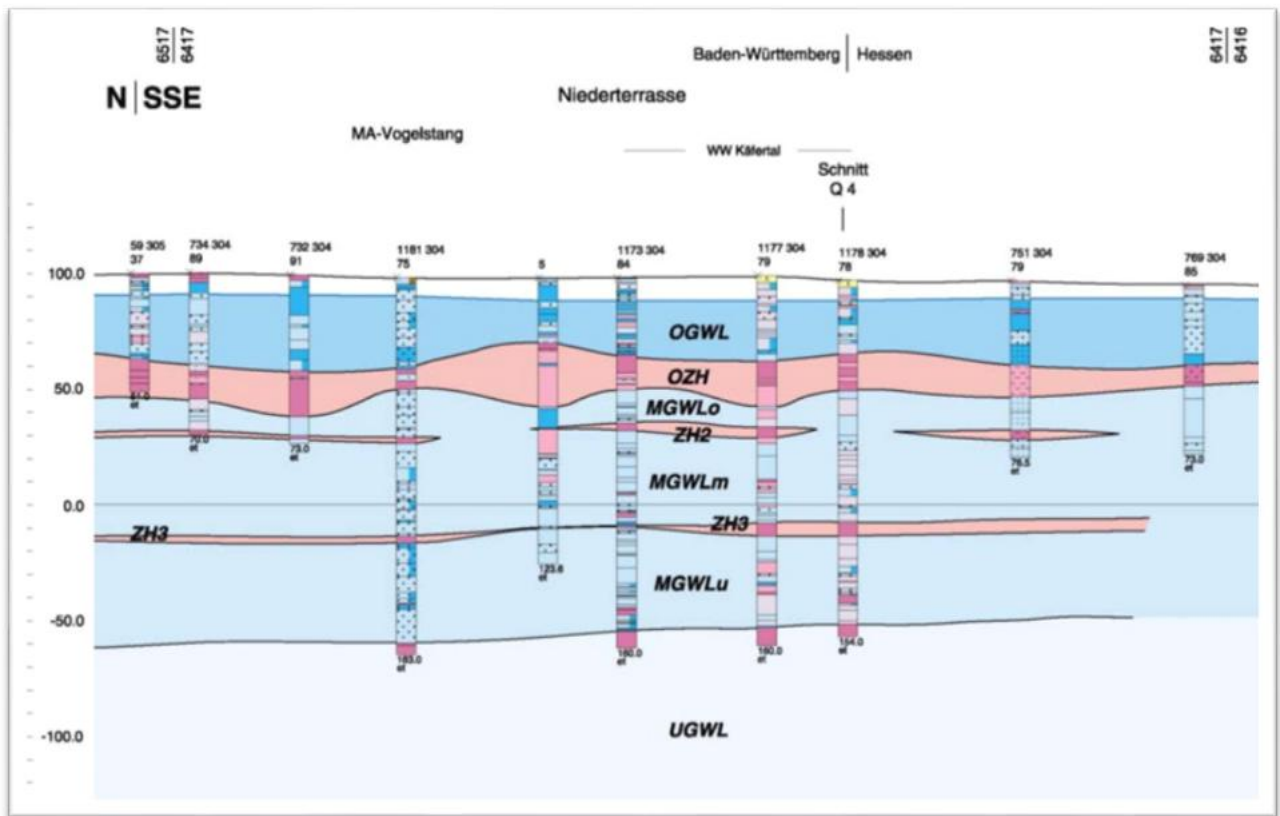


Abbildung 3.1 Hydrogeologischer Längsschnitt L3 der Hydrogeologischen Kartierung Rhein-Neckar-Raum, [U3]

3.1 Ungesättigte Bodenzone

Die Bodenkarte (Karte 14) der HGK [U3] weist für Siedlungsflächen selbst, also auch für das Benjamin Franklin Village, aufgrund der bestehenden Bebauung keine Bodenarten aus. Östlich des Village finden sich würmzeitliche Flug- und Terrassensande, westlich des Village spätwürmzeitliche Hochflutsedimente. Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung für diese Böden ist in der Karte 15 der HGK [U3] als sehr gering dargestellt.

Die militärische Liegenschaft weist eine Bebauung mit Gebäuden, Straßen, diverse versiegelte Flächen sowie unversiegelte Grünflächen auf. Unterhalb von Gebäuden, Straßen oder sonstigen (militärischen) Bauwerken sind anthropogene Auffüllungen eingebracht worden. Der nachfolgend beschriebene Bodenaufbau wurde aus den Profilzeichnungen von Bohrungen entnommen, die auf der Liegenschaft niedergebracht worden sind. Es handelt sich hierbei um die Grundwassermessstellen GWMT-1/08, GWMT-3/08 und MLP1/1.

Die Geländeoberoberkante bei der MLP1/1 weist eine Höhe von 100,08 m NN auf. Die ungesättigte Bodenzone reicht je nach Grundwasserflurabstand und jahreszeitlicher bzw. mehr-

jähriger Spiegelschwankung bis ca. 10 bis 12 m unter GOK (Geländeoberkante), dies entspricht einer Höhe von rd. 88 bis 90 m NN.

Das Bodenprofil der MLP 1/1 weist unterhalb einer 0,25 m mächtigen Betonplatte Auffüllungen aus Sand, Kies und Geröll auf, die bis 1,5 m Tiefe reichen. Unterhalb der Auffüllung folgt bis zu einer Tiefe von 2,0 m ein schwach toniger Schluff. Der ungesättigte Bodenbereich bis rd. 11,20 m Tiefe besteht aus schwach feinkiesigen Feinsanden, die im Liegenden von Fein- bis Grobsanden unterlagert sind.

Die Messstelle GWMT-1/08 wurde auf einer Grünfläche niedergebracht. Das Bodenprofil zeigt einen Bodenaufbau ohne anthropogene Auffüllungen.

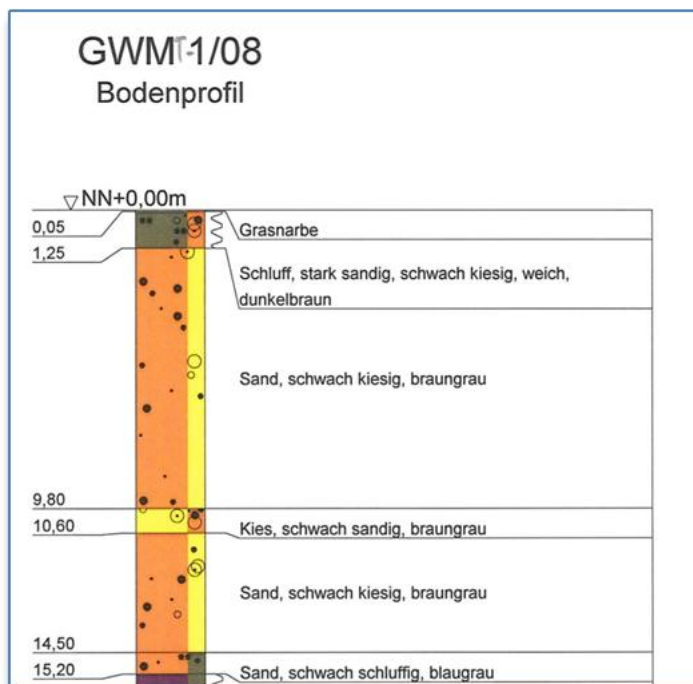


Abbildung 3.2 Bodenprofil der Grundwassermessstelle GWMT-1/08; ungesättigte Bodenzone

Die Ansatzhöhe der GWMT-1/08 liegt bei 98,34 m NN. Ein stark sandiger Schluff reicht bis 1,25 m Tiefe. Unterhalb des Schluffes wurde das Bodenprofil mit Sand, schwach kiesig aufgenommen. Dieser Sand erstreckt sich über die gesamte ungesättigte Bodenzone und wird in einer Tiefe von 9,80 m uGOK bis 10,60 m uGOK von einer schwach sandigen Kieslage unterbrochen. Auffällig ist hier eine lokale Schlufflinse in der gesättigten Grundwasserzone, die in einer Tiefe von 15,20 m bis 18,80 m uGOK nachgewiesen wurde.

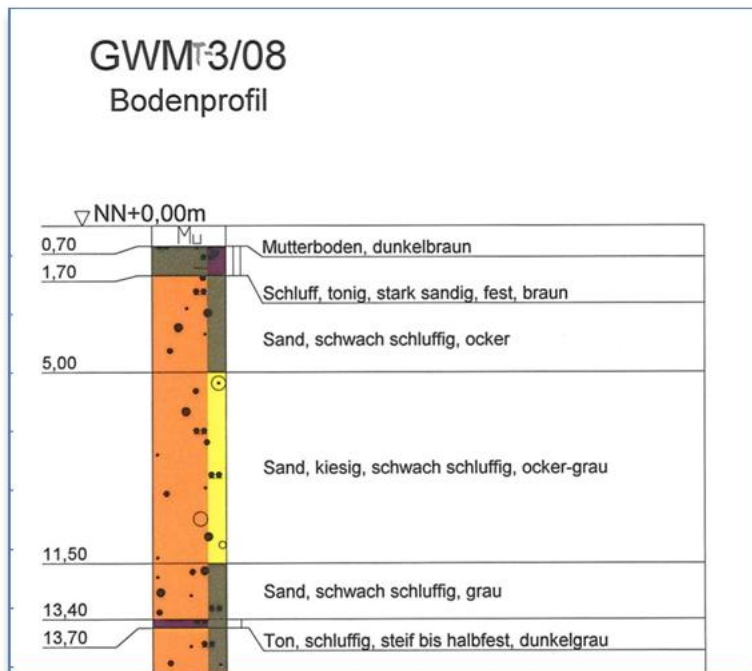


Abbildung 3.3 Bodenprofil der Grundwassermessstelle GWMT-3/08; ungesättigte Bodenzone

Die Ansatzhöhe der GWMT-3/08 liegt bei 99,12 m NN. Ein toniger stark sandiger Schluff reicht bis 1,70 m Tiefe. Unterhalb des Schluffes wurde das Bodenprofil mit Sand, kiesig, schwach schluffig bis in eine Tiefe von 11,50 m aufgenommen. Eine geringmächtige lokale Schlufflinse in der gesättigten Grundwasserzone wurde in einer Tiefe von 13,40 bis 13,70 m uGOK nachgewiesen.

Ausgehend von den beschriebenen Bodenprofilen ist davon auszugehen, dass oberflächennah, bis zu einer Tiefe von rd. 2,0 m ein sandiger Schluff ansteht, der von Sanden und Kiesen unterlagert wird.

3.2 Gesättigte Bodenzone

Das Obere Kieslager (OKL) des Oberen Grundwasserleiters (OGWL) besteht aus Kiesen, sandigen Kiesen und Sanden, gebietsweise mit eingeschalteten Schluffen, Tonen und Torfen. Das Sand-Kies-Gemisch setzt sich aus alpinem Material, Abtragungsprodukten der südlichen Randgebirge von Vogesen und Schwarzwald sowie Bundsandsteinmaterial des Pfälzer Waldes zusammen. Die Mächtigkeit des OKL beträgt im Projektgebiet, dem Benjamin Franklin Village Mannheim rd. 40 m. Bei einem Flurabstand von rd. zehn bis zwölf Metern ergeben sich Grundwassermächtigkeiten von rd. 26 bis 28 m im Oberen Grundwasserleiter bzw. im Oberen Kieslager (OKL).

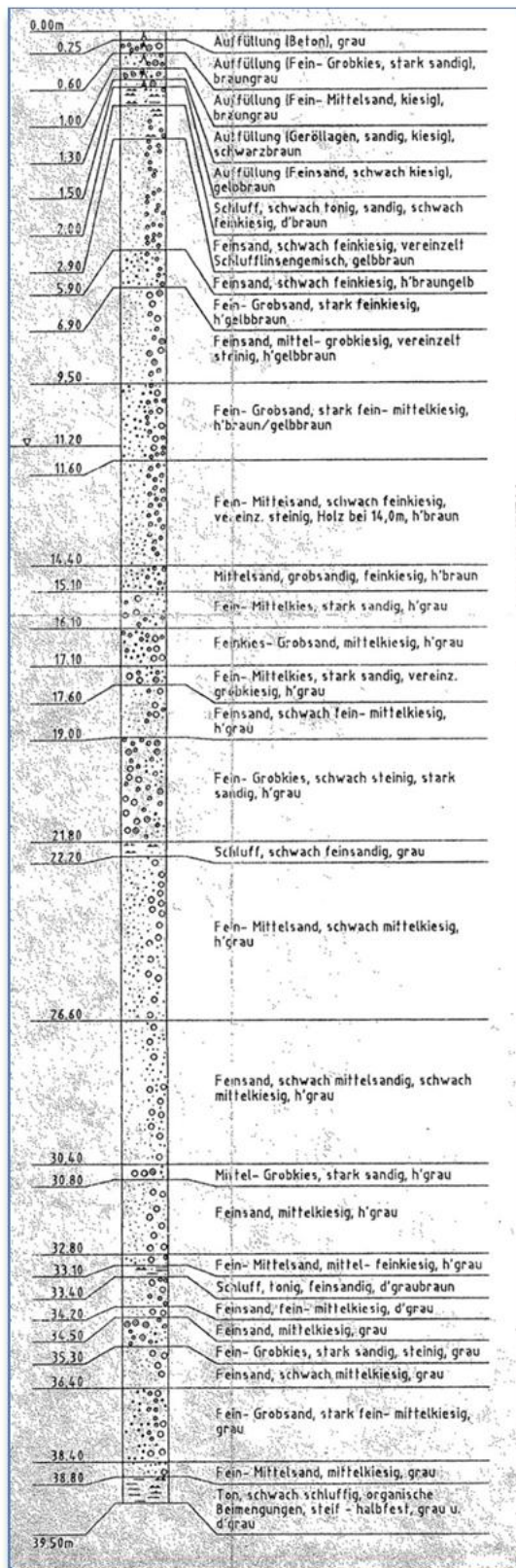


Abbildung 3.4 Bodenprofil der Grundwassermessstelle MLP1/1

An seiner Basis wird das OKL durch den oberen Zwischenhorizont (OZH) begrenzt. Der Obere Zwischenhorizont stellt im Raum Mannheim eine Wechselfolge aus tonig/schluffigen Schichten unterschiedlicher Mächtigkeit von wenigen Dezimetern bis einigen Metern mit zum Teil mächtigeren zwischengeschalteten und unterlagernden kiesfreien Feinsandschichten dar. Im Bereich des Projektgebietes fehlen die tonigen / schluffigen Ausprägungen des OZH stellenweise, sie sind dann sandig ausgebildet. Hieraus ergibt sich eine deutlich erhöhte vertikale Durchlässigkeit zum mittleren Grundwasserleiter (MGL), die hydrogeologisches Fenster genannt wird. Der tiefere Mittlere Grundwasserleiter (MGL) wird in erheblichem Ausmaß zur Trinkwassergewinnung genutzt. Es besteht im Bereich des hydrogeologischen Fensters ein erhöhtes Risiko, dass nachteilig beeinträchtigtes Grundwasser vom Oberen Grundwasserleiter in den Mittleren Grundwasserleiter eindringen kann. Im Projektgebiet ist im OGWL von ungespannten Grundwasserverhältnissen auszugehen.

Im Projektgebiet herrscht im Oberen Grundwasserleiter gem. dem Grundwassergleichenplan der Sanierungsplanung [U5] vom Oktober 2013 eine nach Nordwesten gerichtete Fließrichtung. Aufgrund der Grundwassersanierung ergibt sich kein einheitliches Grundwassergefälle. Das natürliche Gefälle des Grundwassers ist im Umfeld der Förder- und Schluckbrunnen gestört. In der Regel ergibt sich ein Grundwassergefälle von rund einem Meter auf einer Strecke von 1.000 m Dies entspricht einem hydraulischen Gradienten I von rd. 0,001.

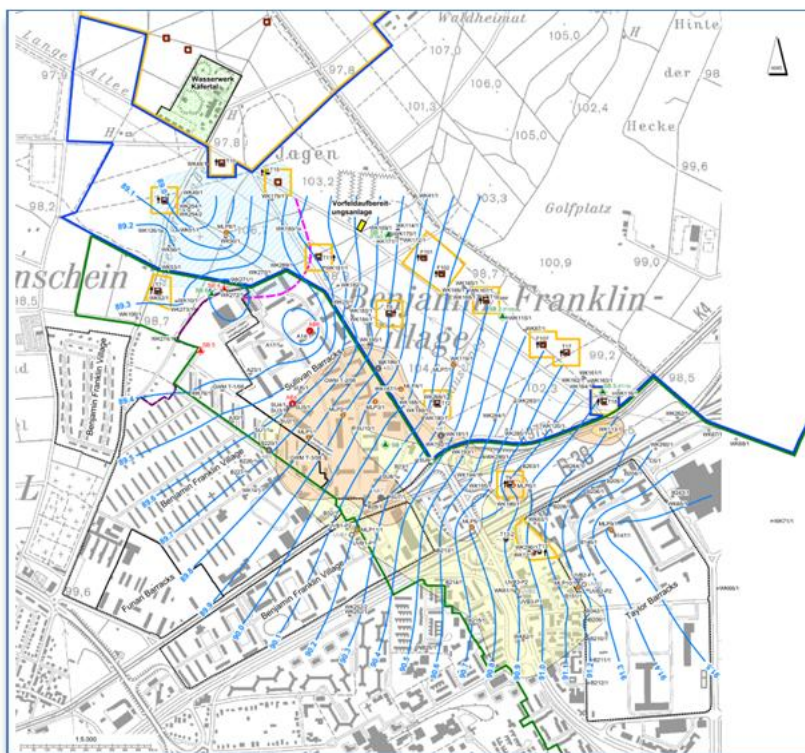


Abbildung 3.5 Grundwassergleichenplan Projektgebiet aus [U5]

Die hydraulischen Eigenschaften, hier der Durchlässigkeitsbeiwert für den Grundwasserleiter am Standort, wurde aus der HGK entnommen. Für den Bereich von Mannheim werden nach Kap. 3.3.2 und Abb. 3.2 der HGK [U3] Durchlässigkeitsbeiwerte von $3 \text{ bis } 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ abgeleitet. Die Durchlässigkeitsbeiwerte wurden auf Grundlage von Pumpversuchen angegeben, die hauptsächlich vom regionalen Wasserversorger, der MVV Mannheim ausgeführt wurden.

Die vorherrschende Grundwassertemperatur liegt bei ca. 12 bis 13 °C. Die genannten Werte beruhen auf Messungen, die im Rahmen eines Grundwassermonitorings durchgeführt wurden.

Die Basis des Oberen Grundwasserleiters wurde in der Bohrung zur Grundwassermessstelle MLP1/1 in einer Tiefe von 38,80 m NN nachgewiesen. Dies entspricht einer Höhenlage von 61,28 m Die nachfolgende Tabelle zeigt die Tiefenlagen des OZH und dessen Aufbau. Die Daten stammen aus drei Bohrungen, die zur Erkundung des OZH in den Benjamin Franklin Village niedergebracht wurden.

Tabelle 3.1 Aufbau des OZH in den 2008/2009 abgeteufte Bohrungen, aus [U5]

GWM T-1/08	GWM T-2/08	GWM T-3/08
<ul style="list-style-type: none"> - Tiefenlage: OZH 48,20 bis 62,10 m u. GOK - Mächtigkeit: rd. 14 m - lediglich 20 cm Schlufflage als Obergrenze - rd. 14 m kiesfreier Feinsand, grau/dunkelgrau 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiefenlage OZH 37,80 bis 57,50 m u. GOK, - Mächtigkeit: rd. 20 m - 2 m Ton-/Schlufflage - 5,6 m Feinsand, grau - 7,6 m Ton-/Schlufflage - 4,5 m Feinsand, grau, organisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiefenlage OHH??? 38,10 bis 62,00 m u. GOK - Mächtigkeit: rd. 24 m - 4,1 m Ton-/Schlufflage - 14 m Feinsandpaket, teilweise schwach schluffig - 1,1 m Ton-/Schlufflage - 4,7 m Feinsand - weitere Ton-/Schlufflage von 1,4 m im MKL

Die Ergebnisse zeigen, dass im Bereich der GWMT-1/08 eine Zone mit erhöhter vertikaler Durchlässigkeit vorliegt, die vergleichbar ist mit dem bekannten hydrogeologischen Fenster, das sich nördlich der Liegenschaft im Käfertaler Wald befindet.

Der Obere Zwischenhorizont stellt einen Grundwasserstauer bzw. einen Grundwassertrennhorizont dar, der bei Bohrungen für geothermische Nutzungen nicht angeschnitten werden darf [U7].

3.3 Trinkwasserschutzgebiet

Das Projektgebiet (s. a. Anlage 1.1) liegt teilweise innerhalb der Schutzzone III B des Trinkwasserschutzgebiets Mannheim – Käfertal (Rechtskräftig mit Verordnung vom 19. Mai 2009) [U7].

Ausgehend von der aktuellen Planung für Franklin Mitte befinden sich die Flächen, östlich der Lincoln Avenue im Trinkwasserschutzgebiet.

Aufgrund der Lage in der Schutzzone III B ergeben sich für diese Flächen hinsichtlich der Nutzung oberflächennaher Geothermie folgende relevanten Regelungen:

§ 8 Sonstige Nutzungen

- (5.) Erschließen von Grundwasser und Oberflächenwasser zur Wärme- oder Kältegewinnung; ist zulässig nur mit wasserrechtlicher Erlaubnis nach § 7 Wasserhaushaltsgesetz und unter der Voraussetzung der Wiedereinleitung des benutzten Grundwassers.
- (7.) Erdwärmesonden sind nur zulässig mit wasserrechtlicher Erlaubnis nach § 7 WHG und unter der Voraussetzung, dass der obere Zwischenhorizont nicht angeschnitten wird.

3.4 Grundwassersanierung Käfertaler Wald

Im Vorfeld des Wasserwerkes Käfertal, das von der Mannheimer Verkehrs- und Versorgungsgesellschaft (MVV) betrieben wird, liegt im Oberen Grundwasserleiter (OGWL) eine Grundwasserverunreinigung durch leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW) vor, die aus dem Bereich der US-Army-Liegenschaften Benjamin Franklin, Sullivan und Taylor in Mannheim-Käfertal in Richtung der Wassergewinnungsanlagen abströmt. Die aktuelle Planung betrachtet einen Sanierungszeitraum bis zum Jahr 2041.

Zum Schutz des zur Trinkwassergewinnung genutzten und entsprechend bedeutenden Mittleren Grundwasserleiters (MGWL), der im Nordwesten des Areals aufgrund des dort durchlässigeren Zwischenhorizontes mit dem OGWL in hydraulischer Verbindung steht (Hydrogeologisches Fenster), erfolgt seit 1985 eine Grundwassersanierung, die insbesondere ein Abströmen von belastetem Grundwasser nach Nordwesten und einen Schadstoffeintrag über das Hydrogeologische Fenster in das tiefere Grundwasserstockwerk verhindert.

Nach den über einen Zeitraum von zwei Jahrzehnten durchgeführten Sanierungsmaßnahmen ist die Sanierung bis heute nicht abgeschlossen. Im OGWL sind noch immer relevante Schadstoffgehalte zu verzeichnen. Aus diesem Grunde wurde eine Sanierungsuntersuchung durchgeführt. Die aus dieser Sanierungsuntersuchung hervorgegangene Vorzugsvariante sieht eine optimierte hydraulische Grundwassersanierung (Pump&Treat) für den OGWL kombiniert mit einer dauerhaften Beobachtung der natürlichen Abbauvorgänge der LCKW (MNA-Konzept; MNA: Monitored Natural Attenuation) zum Schutz des MGWL vor.

Ein grundlegendes Instrument zur Planung und Fortschreibung der Grundwassersanierung ist ein numerisches, hydraulisches Grundwassermodell in Kombination mit einem reaktiven Stofftransportmodell. Die numerischen Modelle beruhen auf hydraulischen und physikochemi-

schen Eingangsgrößen wie z. B. Grundwasserhöhen, hydraulischen Durchlässigkeiten im Untergrund, Wasserförderungen im Umfeld sowie Schadstoffkonzentrationen und Annahmen zum Abbau der Schadstoffe.

Die Grundwassersanierung befindet sich aktuell in einer Übergangsphase. Ab 2016 soll folgende Betriebsweise realisiert sein:

- Entnahme von kontaminiertem Grundwasser aus insgesamt 4 im Sanierungsgebiet vorhandene Förderbrunnen AB 1 (geplante Förderrate: 30 m³), AB 4 (geplante Förderrate: 25 m³), AB 6 (geplante Förderrate: 45 m³) und AB 7 (geplante Förderrate: 40 m³)
- Förderung von belastetem Grundwasser über ein in weiten Teilen vorhandenes Rohrleitungsnetz zu einer neuen ortsfesten Grundwassersanierungsanlage (GWSA) und Entfernung der LCKW-Verbindungen mit Hilfe einer geeigneten Verfahrenstechnik
- Ableitung des gereinigten Grundwassers über ein in weiten Teilen vorhandenes Rohrleitungsnetz und Wiederversickerung in 2 vorhandene Infiltrationsbrunnen im Verhältnis 50:50 (SB 4 und SB 5)

Die mit einem numerischen Modell prognostizierte Grundwasserströmungssituation bei der Grundwassersanierung ist im Lageplan der Anlage 1.2 dargestellt. Der Lageplan zeigt den Verlauf von Bahnlinien des Grundwassers in Richtung der Entnahmebrunnen. Die Stromlinien wurden berechnet, um die notwendige Grundwassermenge zu ermitteln die für die Grundwassersanierung (Gefahrenabwehr für das Wasserwerk) notwendig ist.

Im westlichen Teil der Liegenschaft verläuft eine (berechnete) Trennstromlinie. Grundwasser östlich dieser berechneten Linie strömt den Entnahmebrunnen zu, Grundwasser westlich der Trennstromlinie wird nicht durch die Grundwasserförderung erfasst und ist nicht Gegenstand der Grundwassersanierung.

Die Grundwassersanierung hat direkte Auswirkungen auf die Optionen der geothermischen Nutzungen am Standort. Östlich der Trennstromlinie, im Bereich der hydraulischen Grundwassersanierung ist ein Einsatz einer geothermischen Brunnenanlage mit Grundwasserförderung und Reinfiltration nur mit erhöhtem Aufwand denkbar. Folgende zusätzliche Anforderungen sind zu erwarten:

- Rechnerischer Nachweis auf Basis eines numerischen Grundwassermodells, dass die Grundwasserförderung und Reinfiltration keine nachteiligen Auswirkungen auf die hydraulische Grundwassersanierung hat.
- Das Grundwasser im Sanierungsgebiet weist eine Belastung mit leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen auf (LHKW). Nach der Förderung und Durchleitung durch ein Wärmetauscher-System müsste das Grundwasser vor einer Reinfiltration in den Grundwasserkörper gereinigt werden. Hierzu wäre der Betrieb einer Grundwasseraufbereitungsanlage notwendig, die zusätzliche Kosten verursacht.

- Weiterhin würden sich durch Nutzung von kontaminiertem Wasser erhöhte Anforderungen hinsichtlich Arbeitssicherheit und technischer Auslegung einer Brunnenanlage ergeben (z. B. Leckageschutz).

4 RECHNERISCHE ABSCHÄTZUNG DES GEOTHERMISCHEN VERSORGUNGSPOTENTIALS

Das geothermische Versorgungspotential kann grundsätzlich aus objektspezifischer Sicht und – bei ausreichender Fläche wie vorliegend der Fall – auch aus Sicht der Gesamtfläche eines baulich zu entwickelnden Standortes betrachtet werden. Da der Standort der ehemaligen Benjamin-Franklin-Kaserne insgesamt aus städtebaulicher Sicht planungsrechtlich betrachtet wird, ergibt sich hier die Gelegenheit auch den Gesamtstandort aus Sicht seines geothermischen Versorgungspotentials zu untersuchen.

Aus diesem Grund wurden beide Potentialperspektiven in den Blick genommen, die Herangehensweisen, Szenarien und Ergebnisse sind in den nachfolgenden beiden Punkten dargestellt.

4.1 Objektspezifisches Potential

Soweit uns bekannt liegen feste Vorgaben für die künftige Bebauung noch nicht vor, weshalb von einem Entwicklungsszenario als Mischgebiet für Wohnen und Gewerbe ausgegangen wird. Insofern wurde zunächst das geothermische Versorgungspotential für ein Einfamilienhaus als kleinste denkbare Einheit überschlägig ermittelt. Da die Versorgung angesichts der zur Verfügung stehenden Geothermie (Oberes Kieslager) grundsätzlich über Erdwärmesonden (geschlossenes System) oder Brunnen als hydraulische Dublette mit Förder- und Schluckbrunnen realisierbar ist, wurden beide Varianten durchgerechnet.

Die unterstellten Eingangsgrößen und die Ergebnisse der Berechnung sind nachfolgender Abbildung zu entnehmen. Zum Vergleich auch der Wirtschaftlichkeit beider Varianten wurden zusätzlich Grobkosten zur Herstellung der Erdwärmetauscher überschlägig auf Basis von Erfahrungswerten abgeschätzt. Schnittstelle für den Kostenansatz bildet jeweils die Einführung von Sole (Erdwärmesondenfeld) oder Grundwasser (Brunnenanlage) in das Gebäude. Gebäudespezifische Komponenten (Wärmepumpen, -tauscher und zugehörige Hydraulik und Steuerung) sind nicht berücksichtigt.

Fall 1: Einfamilienhaus	
1a: Heizen mit Wärmepumpe und Erdwärmensonden	
Grundlagen: Monovalent inkl. Warmwasserbereitung, keine Kühllast	
Spezifischer Wärmebedarf:	60 W/m ²
Energiestandard:	ca. KfW 70
Nutzfläche:	150 m ²
Heizlast:	9 kW
Erforderliche Entzugsleistung:	6,75 kW
bei COP ¹ :	4,3 ---
Spez. Entzugsleistung Erde ² :	60 W/m
Erforderliche Sondenlänge:	112 m
Anzahl der Sonden ³ :	3 Stck a' 38 m
Kosten (65 €/lfm Sonde) ⁴ :	7.400 €
1b: Heizen mit Wärmepumpe und Brunnenanlage	
Grundlagen: wie vor	
Spezifischer Wärmebedarf:	60 W/m ²
Energiestandard:	ca. KfW 70
Nutzfläche:	150 m ²
Heizlast:	9 kW
Erforderliche Entzugsleistung:	6,75 kW
bei COP ¹ :	4,3 ---
Erforderliche Entnahmemenge:	0,54 l/s
bei Spreizung:	3 K
Gebirgsdurchlässigkeit:	3,0E-04 m/s
Reichweite n. Sichardt:	13 m
Grundwasserflurabstand:	11 m
Erforderliche Brunnentiefe:	16 m
Bohrdurchmesser:	0,4 m
Kosten (2 Brunnen, 500 €/lfm) ⁴ :	16.000 €

1: Mindestvorgabe Marktanreizprogramm
2: nach VDI 4640 (EFH: 2400 Volllaststunden, Gewerbeimmobilie: 1800 Volllaststunden)
3: Max. Erschließungstiefe Oberes Kieslager 40 m
4: Nur Erdwärmetauscher bis Gebäudeeinführung, ein zusätzlicher Brunnen als Redundanz
5: Nur Raumkühlung, ohne technische Kühllasten

Abbildung 4.1 Variante 1 Einfamilienhaus

Im Ergebnis zeigt sich aufgrund der zu unterstellenden hohen Leistungsfähigkeit der Geothermie, dass die geothermische Versorgung eines Einfamilienhauses zu moderaten Kosten realisiert werden kann. Aufgrund der relativ hohen Grundwasserflurabstände ergeben sich hier in der Relation Kostenvorteile für die Versorgung über Erdwärmesonden. Da beide Varianten auch zur Raumkühlung herangezogen werden können, i.d.R. im Einfamilienhaus mit Privatnutzung jedoch keine zwingende Kühlanforderung besteht, blieb die Kühlung außer Ansatz.

In zweiten Schritt wurde die Versorgung eines deutlich größeren Objektes (hier Gewerbeimmobilie mit Büronutzung) überprüft. Im Gegensatz zum Einfamilienhaus ist hier Raumkühlung unterstellt, da diese zur Einhaltung gesetzlicher Vorgaben bzw. Grenztemperaturen nach [U11] ein geeignetes Mittel sein kann. Ferner verbessert die Kühlung insbesondere in der Variante Erdwärmesondenfeld die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu konventionellen Versorgungsvarianten (z.B. Gaskessel in Verbindung mit mechanischer Kälteerzeugung), da solche Felder dann als saisonaler Energiespeicher betrieben werden können. Die Größe des Objektes wurde mit 6.000 m² Nutzfläche so gewählt, dass eine monovalente Versorgung mit handelsüblichen Wärmepumpen problemlos sichergestellt werden kann. Grundsätzlich ist darüber hinaus auch die Versorgung größerer Objekte denkbar, dann aber ggf. wirtschaftlicher mit bivalenten Konzepten darstellbar.

Die Ergebnisse der Berechnung sind nachfolgend dargestellt:

Fall 2: Gewerbeimmobilie mit Büronutzung	
2a: Heizen mit Wärmepumpe/ passiv kühlen mit Wärmetauscher über Erdwärmesonden	
Grundlagen: Monovalent, Auslegungsfall ist der Heizfall	
Spezifischer Wärmebedarf:	45 W/m ²
Energiestandard:	ca. KfW 70
Fläche:	6.000 m ²
Heizlast:	270 kW
Erforderliche Entzugsleistung:	207,2 kW
bei COP ¹ :	4,3 ---
Spez. Entzugsleistung Erde ² :	70 W/m
Erforderliche Sondenlänge:	2.960 m
Anzahl der Sonden ³ :	74 Stck a' 40 m
Kosten (65 €/lfm Sonde) ⁴ :	192.400 €
Hierin enthalten passives Kühlen in folgendem Umfang:	
Spezifischer Kältebedarf ⁵ :	20 W/m ²
Nutzfläche:	6.000 m ²
Heizlast:	120 kW

2b: Heizen mit Wärmepumpe/ passiv Kühlen mit Wärmetauscher über Brunnenanlage	
Grundlagen: wie vor	
Spezifischer Wärmebedarf:	45 W/m ²
Energiestandard:	ca. KfW 70
Nutzfläche:	6.000 m ²
Heizlast:	270 kW
Erforderliche Entzugsleistung:	207,2 kW
bei COP ¹ :	4,3 ---
Erforderliche Entnahmemenge:	10 l/s
bei Spreizung:	5 K
Gebirgsdurchlässigkeit:	3,0E-04 m/s
Reichweite n. Sichardt:	52 m
Grundwasserflurabstand:	11 m
Erforderliche Brunnentiefe:	40 m
Bohrdurchmesser:	0,6 m
Kosten (3 Brunnen, 700 €/lfm) ⁴ :	84.000 €
Hierin enthalten passives Kühlen in folgendem Umfang:	
Spezifischer Kältebedarf ⁵ :	20 W/m ²
Nutzfläche:	6.000 m ²
Heizlast:	120 kW
1: Mindestvorgabe Marktanreizprogramm	
2: nach VDI 4640 (EFH: 2400 Volllaststunden, Gewerbeimmobilie: 1800 Volllaststunden)	
3: Max. Erschließungstiefe Oberes Kieslager 40 m	
4: Nur Erdwärmetauscher bis Gebäudeeinführung, ein zusätzlicher Brunnen als Redundanz	
5: Nur Raumkühlung, ohne technische Kühllasten	

Abbildung 4.2 Variante 2 Gewerbeimmobilie

Es zeigt sich, dass beide Systeme grundsätzlich darstellbar sind. Allerdings wird davon auszugehen sein, dass im Gegensatz zum Einfamilienhaus die Brunnenlösung gegenüber dem Erdwärmesondenfeld aufgrund der hohen Ergiebigkeit des Grundwasserleiters hier die wirtschaftlichere sein wird, da die hohen Grundwasserflurabstände hier keinen wesentlichen Einfluss mehr auf das Kostenszenario für die Brunnenanlage haben.

4.2 Standortpotential

Zur Bewertung des gesamten Standortpotentials müssen auf Grundlage des aktuellen, an verschiedenen Stellen für eine abschließende geothermische Beurteilung noch unzureichenden

Datenbestandes vereinfachende Konventionen getroffen werden, die nachfolgend erläutert sind:

- Zur Potentialermittlung wurde nur der konvektive Anteil des Wärmetransportes über den Grundwasserstrom betrachtet;
- Hierzu wurde der jährliche Grundwasserumsatz auf der gesamten Standortfläche berechnet;
- Neben den zur Verfügung stehenden Aquiferparametern (kf, Grundwasserfließrichtung, -gefälle und Potentialdifferenz, angenommene Nutzporosität) wurde in erster Näherung eine Abstrombreite senkrecht zur Grundwasserfließrichtung von 1.000 m unterstellt;
- Für diese Grundwassermenge wurde dann der Energieinhalt berechnet, der sich bei einem Wärmeentzug mit einer wärmepumpentypischen Temperaturdifferenz von 5 K ergibt;

Die Ergebnisse der Berechnungen sind nachfolgender Tabelle zu entnehmen:

Potentialhöhe Anstrom:		90,5	mNN
Potentialhöhe Abstrom:		89,5	mNN
Abstromlänge:		1.000	m
Gradient:		0,001	---
Abstrombreite:		1.000	m
Gebirgsdurchlässigkeit:		3,0E-04	m/s
Filtergeschwindigkeit:		3,0E-07	m/s
Grundwassermächtigkeit ¹ :		29	m
Abstromquerschnitt:		29.000	m ²
Grundwasserumsatz:		274.363	m ³ /a
Abstandsgeschwindigkeit ² :		37,8	m/a
Ungestörte Grundwassertemperatur:		12,5	°C
Temperaturdifferenz Wärmeentzug:		5	K
Jahresenergiemenge im Abstromsegment:		1.580	MWh
Jahresenergiebedarf EFH/Jahr ³ :		12,15	MWh
Jahresenergiebedarf Gewerbeimmobilie ⁴ :		300	MWh
1: Oberes Kieslager			
2: Bei überschlägig 25% nutzbarem Porenvolumen			
3: Nach Berechnungsfall 1 bei 1.800 Volllaststunden Heizen n. VDI 4640			
4: Nach Berechnungsfall 2 bei 1.800 Volllaststunden Heizen n. VDI 4640 und 600 Volllaststunden Kühlen; Eingestellt wurde nur das Bilanzdefizit			

Abbildung 4.3 Bilanzberechnung konvektiver Energietransport über das Grundwasser

Danach ist in der Größenordnung damit zu rechnen, dass ca. 270.000 m³ Grundwasser pro Jahr bezogen auf das Obere Kieslager von +/- Südost in den Standort einströmen (Grundwasserumsatz). Auf Grundlage der berechneten Abstandsgeschwindigkeit errechnet sich daraus ein Flächensegment von 38 m Länge (in Grundwasserfließrichtung), welches pro Jahr ohne Berücksichtigung der Grundwasserneubildung vollständig erneuert wird.

Das Grundwasser dieses Segmentes kann bei einer Temperaturabsenkung von 5 K eine Energiemenge von etwa 1.600 MWh bereitstellen. Beiträge des geothermischen Wärmeflusses, solare Gewinne und der Wärmekapazität der Kornmatrix blieben hierbei unberücksichtigt.

Zur Einordnung dieser Energiemenge im Hinblick auf das Versorgungspotential sind o.g. Tabelle auch die Energiebedarfe der unter Pkt. 4.1 berechneten Einzelobjekte gegenübergestellt. Es zeigt sich dabei, dass die jährlich dem Standort zufließende Energie allein durch den Grundwasserzustrom deutlich oberhalb der objektspezifischen Einzelbedarfe liegt.

5 ZUSAMMENFASSUNG, BELASTBARKEIT DER DATENBASIS UND EMPFEHLUNGEN

Die vorgestellten Überlegungen haben gezeigt, dass der Standort der Benjamin-Franklin Kaserne aufgrund der Leistungsfähigkeit der anstehenden Geotherme (Oberes Kieslager) über ein erhebliches Potential zur geothermischen Versorgung von Gebäuden mit Wärme und Kälte verfügt. Dies wurde an zwei typischen Objekten (Einfamilienhaus und Gewerbeimmobilie) rechnerisch überschlüssig nachgewiesen.

Die Aussagen sind noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, da insbesondere beim Ansatz geothermischer Parameter hilfsweise auf Entzugsleitungen (Erdwärmesonden) zurückgegriffen werden musste, welche nach [U9][U10] nur für Anlagenleistungen < 30 kW zulässig sind. Diese Daten müssen bei der Entwicklung standortübergreifender Konzepte oder objektspezifischer Planungen verifiziert werden. Hinweise zu Umfängen der geothermischen Standorterkundung, Planungsinhalten und –anforderungen gibt hier der VBI-Leitfaden [U12]. Bei der Anlagenplanung sind die länderspezifischen Regelungen zu beachten.

Aus der Perspektive des Gesamtstandortes kann die geothermische Energieversorgung voraussichtlich einen erheblichen Anteil bei der Wärme- und Kälteversorgung dort zu errichtender Gebäude leisten. Hier ist zu empfehlen ein standortübergreifendes Bewirtschaftungskonzept zu entwickeln, im Rahmen dessen die wesentlichen Untergrund-Parameter, welche der Anlagenauslegung zu Grunde zu legen sind standortübergreifend auf orientierender Basis ermittelt werden. Hierdurch können Kosten, die bei immer wiederkehrenden objektbezogenen Erkundungen regelmäßig anfallen eingespart werden. Ferner können in einem solchen Konzept Grundzüge der Bewirtschaftung insofern geregelt werden, als nur solche Anlagen errichtet werden dürfen, die das Grundwassertemperaturregime möglichst wenig ändern. Dies kann es z.B. erforderlich

machen ausschließlich zur Kühlung eingesetzte Anlagen nur im Ausnahmefall zu genehmigen und stattdessen auf möglichst bilanzneutrale Anlagen zu setzen.

Für den Einsatz oberflächennaher Geothermie liegen auf der Liegenschaft Benjamin Franklin Village Bereiche mit unterschiedlichen Randbedingungen vor. Die Situation ist zusammenfassend grafisch im Lageplan der Anlage 1.3 dargestellt. Der östliche Teil der Liegenschaft befindet sich in der Schutzzone III B des Trinkwasserschutzgebietes des Wasserwerks Mannheim-Käfertal. Geothermische Nutzungen bedürfen hier einer wasserrechtlichen Erlaubnis der unteren Wasserbehörde.

Im Bereich der hydraulischen Grundwassersanierung, westlich der Schutzzone III B ist ein Einsatz einer geothermischen Brunnenanlage mit Grundwasserförderung und Reinfiltration nur mit erhöhtem Aufwand (Genehmigung, Betrieb) denkbar. Westlich des Bereichs der Grundwassersanierung ergeben sich keine rechtlichen Einschränkungen.

CDM Smith Consult GmbH
2015-05-05



Dipl.-Geol. Alexander Eber



Dipl.-Geol. Hans-Peter Purgahn

ANLAGE 1 LAGEPLÄNE

Anlage 1.1 Übersicht Projektgebiet, Lage
Trinkwasserschutzgebiet

Anlage 1.2 Grundwassersanierung, Strö-
mungsbild, Einschränkungen für
geothermische Nutzungen

Anlage 1.3 Nutzung oberflächennaher Ge-
othermie; Optionen für das Ben-
jamin Franklin Village



STADT MANNHEIM²

Fachbereich Baurecht und
Umweltschutz

Trinkwasserschutzgebiet Mannheim - Käfertal

Rechtskräftig mit Verordnung vom 19. Mai 2009



Legende

- Landesgrenze
- Gemarkungsgrenze
- Zone I
- Zone II
- Zone III A
- Zone III B

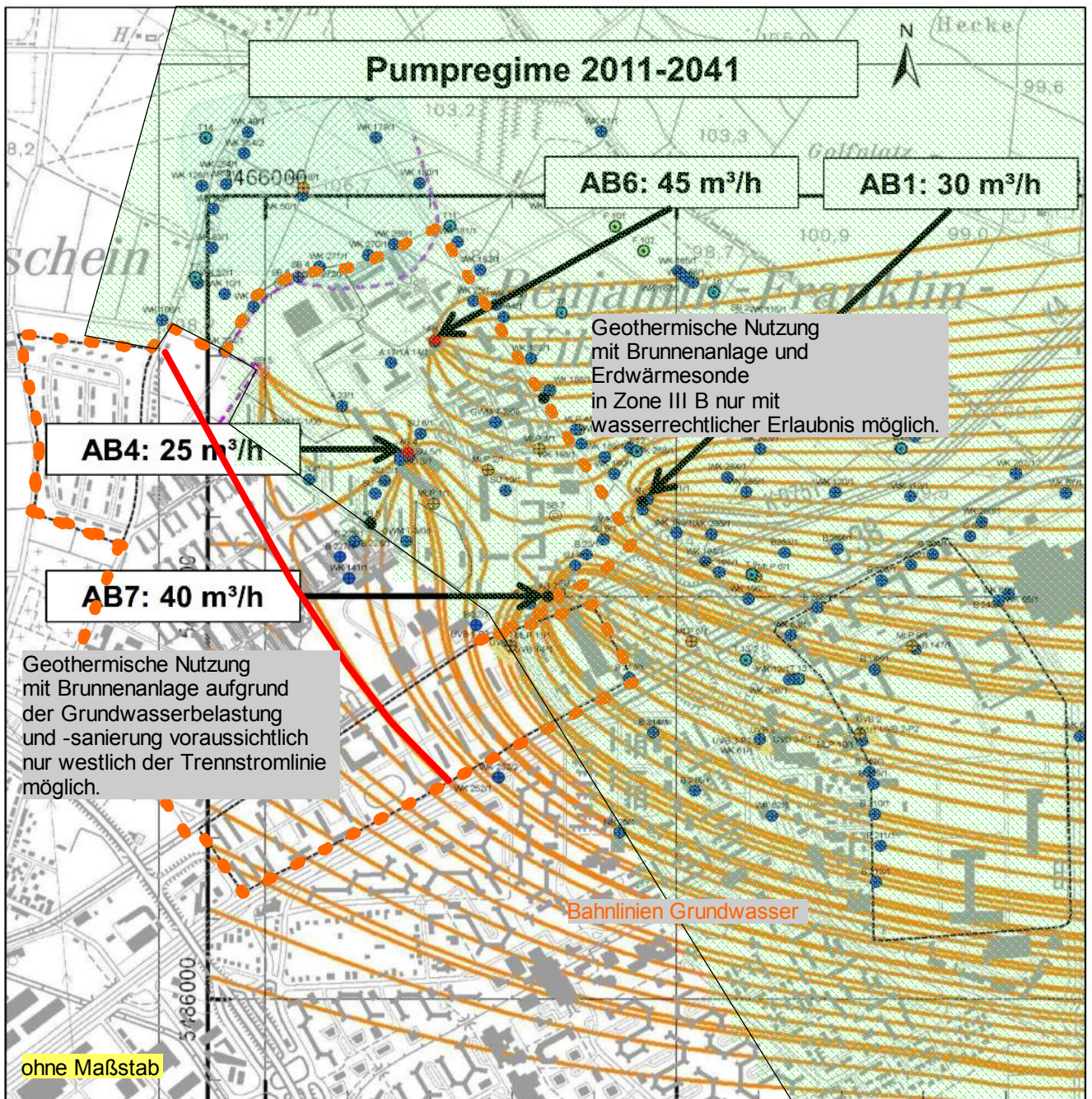
Projektgebiet

Mannheim, Benjamin Franklin Village

Übersicht Projektgebiet,
Lage Trinkwasserschutzgebiet



Avang 1.1
Proj-Nr: 105689
Bearb. Purgahn
Stand: 2015-04-15




Trennstromlinie Grundwasserpörderung



Trinkwasserschutzgebiet Käfertaler Wald
(ohne Differenzierung der Zonen I, II, III A/B)



Projektgebiet
(Teilflächen 1 bis 6)

<p>Mannheim, Benjamin Franklin Village</p>		
<p>Grundwassersanierung, Strömungsbild; Einschränkungen für geothermische Nutzungen</p>	<p>Anlage: 1.2 Proj.-Nr.: 105689</p>	<p>Bearb.: Purgahn Stand: 2015-04-15</p>

