

Studie zur geothermischen Nutzung
des Untergrundes am Standort des NBG
„Im Steinert“ in 55435 Gau-Algesheim

erstellt von:



UBeG Dr. E. Mands & Dipl.-Geol. M. Sauer GbR
Reinbergstraße 2 35580 Wetzlar – Nauborn
Tel.: 06441/212910 Fax: 06441/212911
Email: UBeG@UBeG.de www.UBeG.de

Datum: 14. Juni 2019

INHALTSVERZEICHNIS

1.	VORGANG UND AUFTRAG	3
2.	TECHNIK	3
2.1	Erdwärmesonden (geschlossenes System)	3
2.2	Brunnendublette (offenes System).....	4
3.	BAUVORHABEN „IM STEINERT“	6
3.1	Geografische Lage	6
3.2	Geologischer Rahmen	7
3.3	Geologie und Hydrogeologie am Standort	8
3.4	Bewertung der geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen	11
4.	GENEHMIGUNGSRECHTLICHE RANDBEDINGUNGEN.....	12
5.	AUSLEGUNGSBERECHNUNG EWS-FELD	15
5.1	Gebäudedaten.....	15
5.2	Konvergenzkriterien	16
5.3	Auslegungsberechnung	17
5.3.1	Berechnung 1: EWS mit Sole, 200m, Linienanordnung.....	17
5.3.2	Berechnung 2: EWS mit Sole, 200m, Clusteranordnung	20
5.3.3	Berechnung 3: EWS mit Sole, 100m, Linienanordnung.....	23
5.3.4	Berechnung 4: EWS mit Sole, 100m, Clusteranordnung	26
5.3.5	Berechnung 5: EWS mit Wasser, 200m, Linienanordnung	28
5.3.6	Berechnung 6: EWS mit Wasser, 200m, Clusteranordnung.....	30
5.3.7	EWS mit Wasser, 100m	32
6.	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN.....	32
7.	ANHANG: INFORMATIONEN ZUR EED-SONDENFELDAUSLEGUNG	37
7.1	Allgemeines zu EED, Eingesetzte Software.....	37
7.2	Wichtige Eingangsparameter für die EED-Auslegung und deren Einflüsse	38

1. Vorgang und Auftrag

Durch die Verbandsgemeinde Gau-Algesheim wurde UBeG mit Schreiben vom 08.05.2019 gemäß Angebot vom 30.04.2019 beauftragt, eine geothermische Studie für den Standort Gau-Algesheim, NBG „Im Steinert“ auszuführen. Der Auftraggeber plant in dem Neubaugebiet die Errichtung einer kalten Nahwärmeversorgung.

Auftrag

Das Areal soll gemäß den planerischen Vorgaben und der Zielsetzung überwiegend dem (individuellen) Wohnen dienen. Vorgesehen ist die Errichtung von 25 Einfamilienhäusern, 12 Doppelhäusern, 5 Reihenhäusern und 3 Mehrfamilienhäusern.

Die vorliegende Studie basiert auf vorhandenen Unterlagen, Informationen und Daten von Behörden und eigenen Datenbanken. Bohrungen und andere Geländearbeiten sind in diesem Rahmen nicht vorgesehen.

2. Technik

Prinzipiell werden zwei Arten der Nutzung oberflächennaher Geothermie unterschieden:

Technik

- der indirekte Wärmeentzug über in den Untergrund eingebrachte Wärmetauscher (geschlossene Systeme) und
- der direkte Wärmeentzug aus gefördertem (und wieder eingeleitetem) Grundwasser (offene Systeme).

In den nachfolgenden Abschnitten werden beide Systeme kurz erläutert.

2.1 Erdwärmesonden (geschlossenes System)

Es werden Vertikalbohrungen bis in eine Tiefe von üblicherweise ca. 100m abgeteuft. Der Bohrdurchmesser beträgt dabei etwa 152mm oder größer. In die Bohrungen werden Erdwärmetauscherrohre (Erdwärmesonden) eingebaut, der verbleibende Ringraum wird mit einer thermisch verbesserten Zement-Suspension verfüllt, um einen guten thermischen Kontakt der Erdwärmesonden zum Gebirge zu gewährleisten und die Bohrung gegen eindringendes Oberflächenwasser abzudichten.

Erdwärmesonden

Als Erdwärmesonden werden in Deutschland üblicherweise sog. Doppel-U-Sonden eingesetzt. Diese bestehen aus insgesamt vier HDPE-Rohren (Durchmesser 32mm oder 40mm), wobei jeweils zwei am Sondenfuß miteinander verbunden sind.

Alle Erdwärmesonden werden über Verteiler (Unterverteiler für Teilfelder und/oder ein Hauptverteiler direkt am oder im Gebäude) mit dem Wärmetauscher/Wärmepumpe verbunden (Anbindung).

In dem System (Erdwärmesonden und Anbindung) zirkuliert ein Wärmeübertragungsmedium (Wasser oder Wasser-Frostschutz-Gemisch → Sole). Der Sole wird über die Wärmepumpe Energie entzogen. Die kalte Sole erwärmt sich in den Erdwärmesonden wieder und kühlt dabei den Untergrund ab.

Im erdseitigen Kreislauf liegen die Temperaturen im Heizbetrieb auf einem Niveau zwischen etwa 13°C und -3°C. Zur Gebäudebeheizung muss dieses Temperaturniveau mit der Wärmepumpe (WP) auf etwa 35°C (oder höher, je nach Heizsystem) angehoben werden. Dazu benötigt die Wärmepumpe Antriebsenergie (i.d.R. elektrischer Strom). Bei einer korrekt ausgelegten Erdwärmesondenanlage liegt das Verhältnis von Antriebsenergie zu gewonnener Erdwärme auch im langjährigen Betrieb bei mindestens 1 zu 3, d.h. von 4 Teilen Heizenergie stammen 3 Teile aus der Erde und ein Teil aus der elektrischen Antriebsenergie (Arbeitszahl 4).

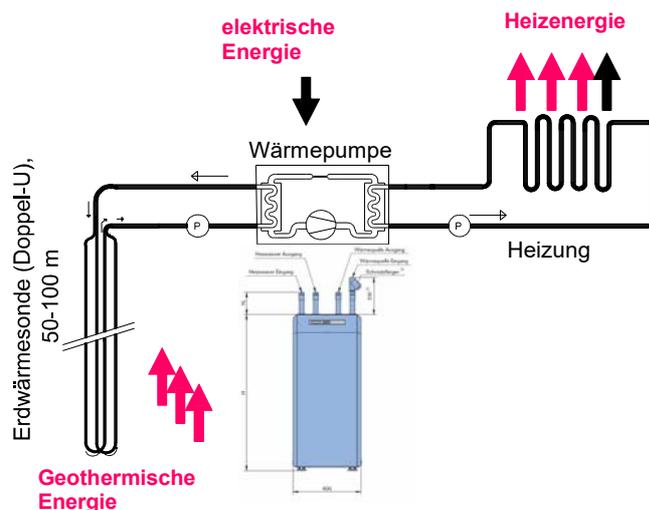


Abbildung 1: Schema Erdgekoppelte Wärmepumpe

2.2 Brunnendublette (offenes System)

Es werden Vertikalbohrungen bis in den Grundwasserleiter abgeteuft. Der Bohrdurchmesser beträgt mehrere zehner Zentimeter bis zu zwei Meter. In die Bohrungen werden Brunnenrohre eingebaut, der verbleibende Ringraum wird mit Kies im Bereich der Filterrohre und mit abdichtenden Materialien (Ton, Zement) im Bereich der Vollwandrohre verfüllt.

Brunnendublette

Zur Förderung von Grundwasser wird eine Unterwasserpumpe eingesetzt. Über die Steigleitung und die horizontale Anbindung wird das Grundwasser zum Wärmetauscher/Wärmepumpe im Gebäude geführt. Nach Wärmeentzug (oder -eintrag im Kühlfall) wird das Grundwasser über Schluckbrunnen wieder dem Grundwasserleiter zugeführt.

Während bei der Planung geschlossener Systeme als erdseitige Parameter nur Wärmeleitfähigkeit, Untergrundtemperatur und thermischer Bohrlochwiderstand ausschlaggebend sind, müssen bei der Planung von Brunnenanlagen deutlich mehr Parameter berücksichtigt werden. Insbesondere die hydrogeologischen und hydrochemischen Randbedingungen sind hier zu nennen.

Grundwassergekoppelte Wärmepumpen arbeiten wesentlich effizienter als erdgekoppelte Wärmepumpen (Erdwärmesonden) und sind an hydrogeologisch geeigneten Standorten ab einer Anlagengröße von etwa 150kW meist kostengünstiger in der Anlagenerstellung als Erdwärmesonden.

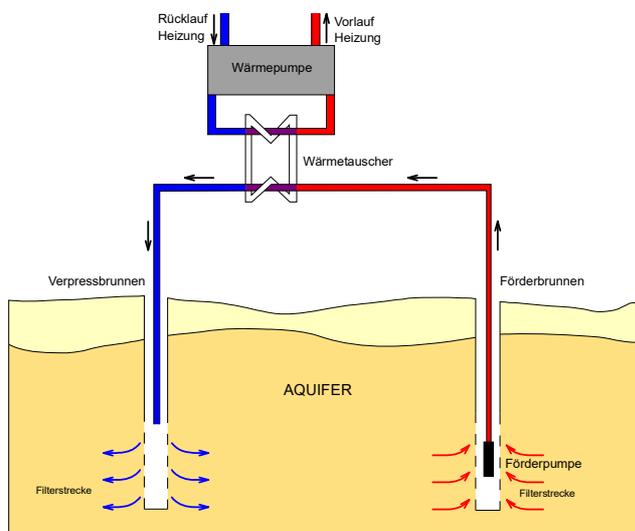


Abbildung 2: Schema grundwassergekoppelte Wärmepumpe

3. Bauvorhaben „Im Steinert“

3.1 Geografische Lage

Die Stadt Gau-Algesheim liegt in Rheinland-Pfalz, etwa 3km südlich des Rheins und schließt sich westlich an die Stadt Ingelheim an.

Geografische Lage

Das Projektareal liegt am Westrand von Gau-Algesheim (Abbildung 3).

Das Areal, sowie die westlich und südlich anschließenden Flächen werden derzeit landwirtschaftlich genutzt.



Abbildung 3: Lage des Projektareals in Gau-Algesheim (Ausschnitt Bebauungsplan)

Das Zentrum des Projektareals liegt in etwa bei den UTM-Koordinaten: Zone 32U, 428900E, 5534120N. Das Gelände umfasst eine Fläche von etwa 3,2 ha. Der Hochpunkt liegt bei ca. 122 m ü. NN (Süden) und der Tiefpunkt bei ca. 115 m ü. NN (Norden).

Auf dem Areal ist die Errichtung von 25 Einfamilienhäusern, 12 Doppelhäusern, 5 Reihenhäusern und 3 Mehrfamilienhäusern geplant (Abbildung 4), deren energetische Versorgung in Form eines kalten Nahwärmenetzes mit dezentralen Wärmepumpen über ein zentrales Erdwärmesondenfeld realisiert werden soll.

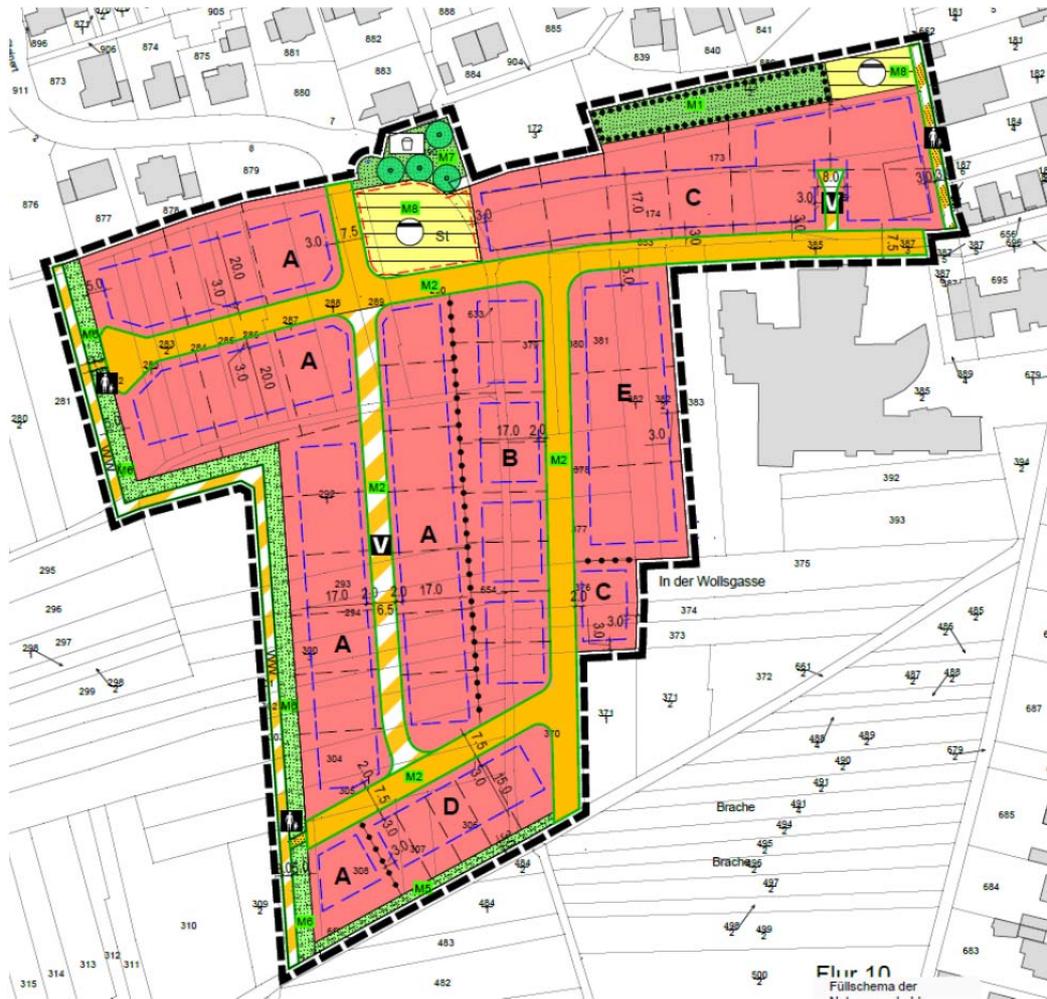


Abbildung 4: Vorgesehene bauliche Nutzung des Projektareals (Ausschnitt Bebauungsplan)

3.2 Geologischer Rahmen

Der hydrogeologische Großraum Oberrheingraben kennzeichnet die aktive, mit jungen (känozoischen) Lockersedimenten gefüllte Senkungszone des Rheintals, sowie die Sedimentationsgebiete der tertiären Meeresverbreitung. Die Lockergesteine (Porengrundwasserleiter) enthalten ergiebige Grundwasservorkommen, wohingegen die tertiären Karbonat- und Sedimentgesteine für die Grundwassergewinnung eher von untergeordneter Bedeutung sind.

Die Stadt Gau-Algesheim befindet sich am Nordrand des Mainzer Becken Tertiärs. Im Norden schließt sich die geologische Struktur des Tertiärs und Quartärs des Rheins bzw. des Rhein-Main-Gebietes an.

Geologischer
Rahmen

3.3 Geologie und Hydrogeologie am Standort

Die geologische Situation im Bereich des geplanten Neubaugebietes ist im Wesentlichen geprägt durch das Mergelteritär des Mainzer Beckens.

Standort-
bedingungen

Die nachstehenden Abbildungen 5 bis 8 zeigen Ausschnitte aus der Hydrogeologischen Übersichtskarte 1:300.000 von Rheinland-Pfalz, der geologischen Karte 1:25.000 sowie den Profilschnitt der geologischen Karte.

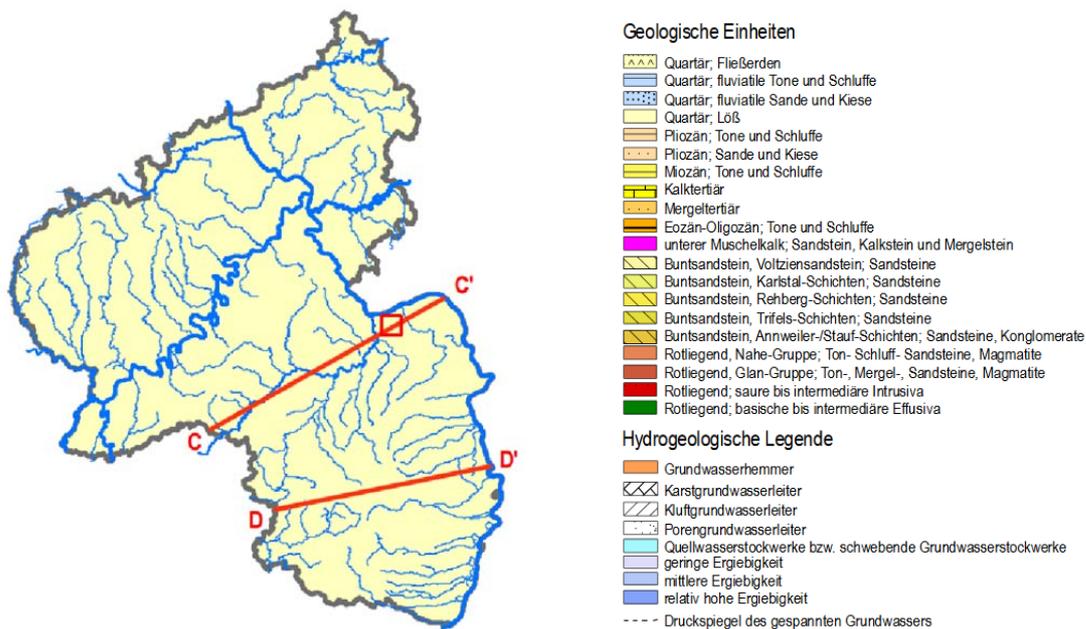


Abbildung 5: Geologisch-hydrogeologische Übersichtsschnitte aus dem Hydrologischen Atlas Rheinland-Pfalz (Quelle: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz)

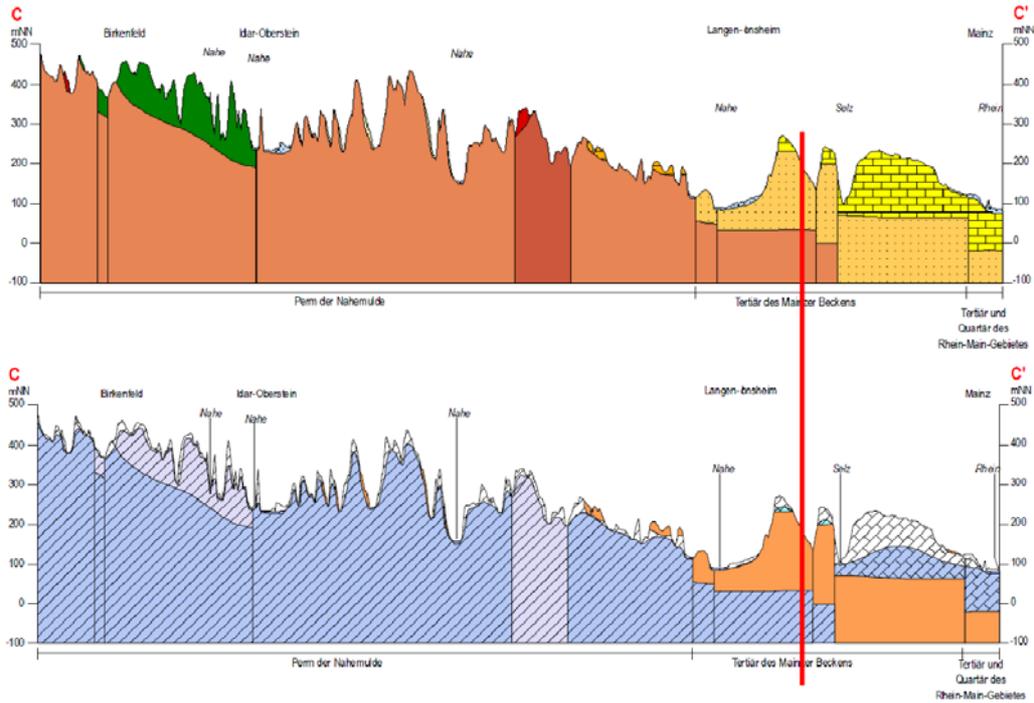


Abbildung 6: Profilschnitt C-C' (die ungefähre Lage des NBG ist rot markiert)

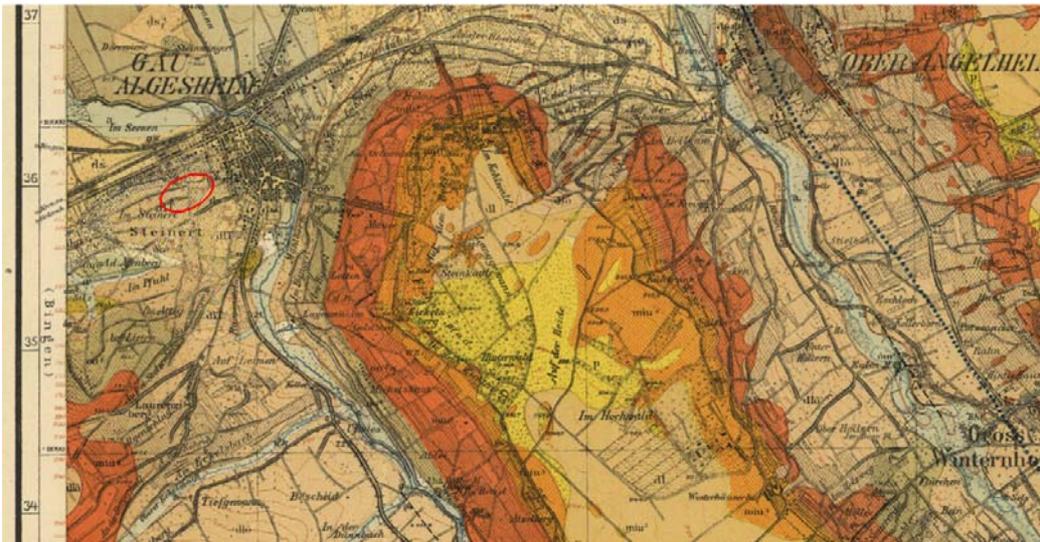


Abbildung 7: Ausschnitt aus der Geologischen Karte 1:25000 von Hessen, Blatt 6014 Ingelheim, Lage des NBG liegt innerhalb der roten Markierung

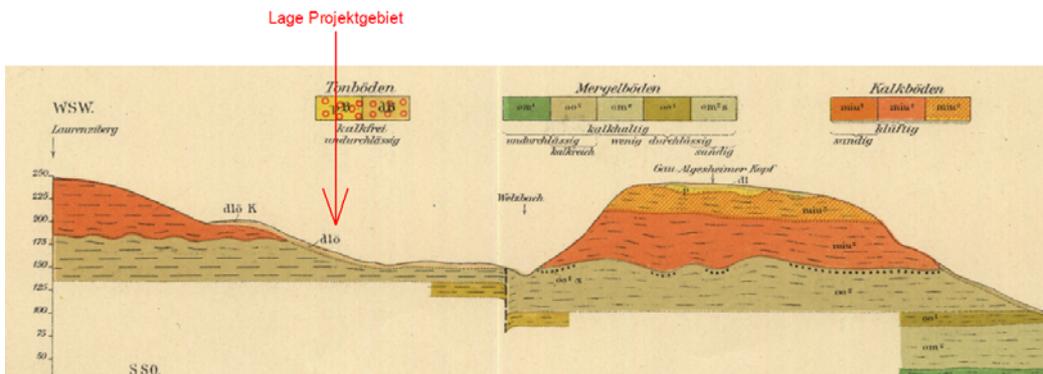


Abbildung 8: Ausschnitt aus der Geologischen Karte 1:25000 von Hessen, Blatt 6014 Ingelheim, Profilschnitt

Unter einer geringmächtigen Lössauflage sind mergelige Sedimente mit einer Mächtigkeit von ungefähr 100m zu erwarten. Darunter folgen die Ton-, Schluff- und Sandsteine des Rotliegend.

In Abbildung 9 ist ein Ausschnitt der online verfügbaren Karten des Landesamt für Geologie und Bergbau mit Angaben zur Durchlässigkeit des Oberen Grundwasserleiters dargestellt. Abbildung 10 zeigt die Grundwasserergiebigkeit.

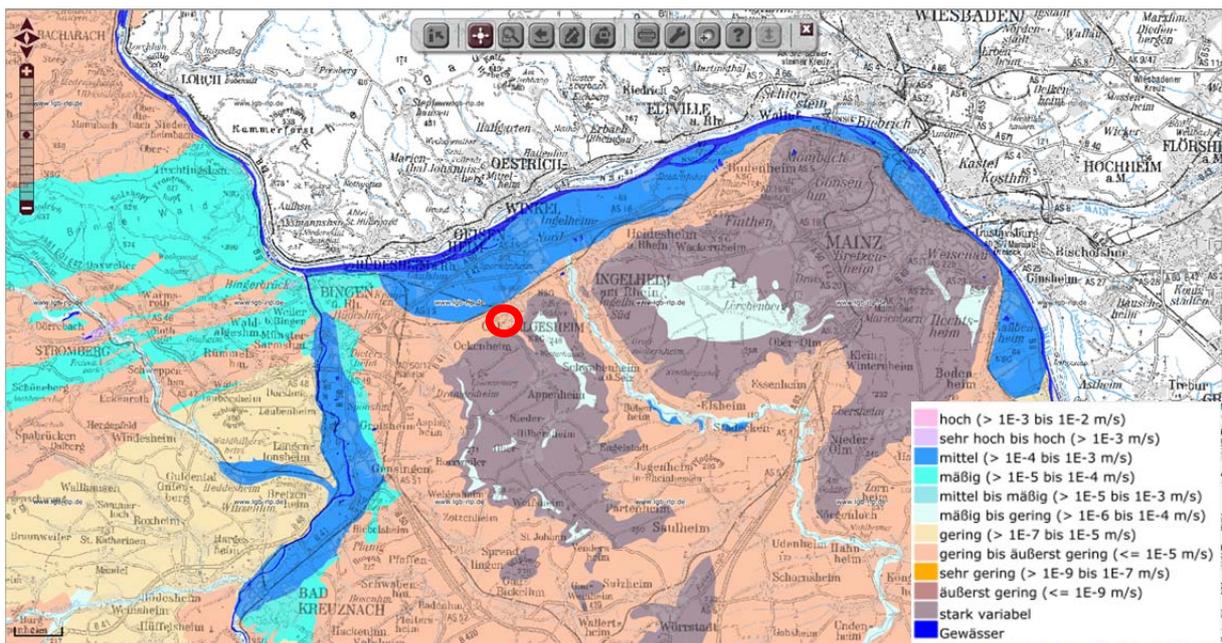


Abbildung 9: Durchlässigkeit des oberen Grundwasserleiters (Quelle: <https://mapclient.lgb-rlp.de>, Abfrage vom 29.05.2019)

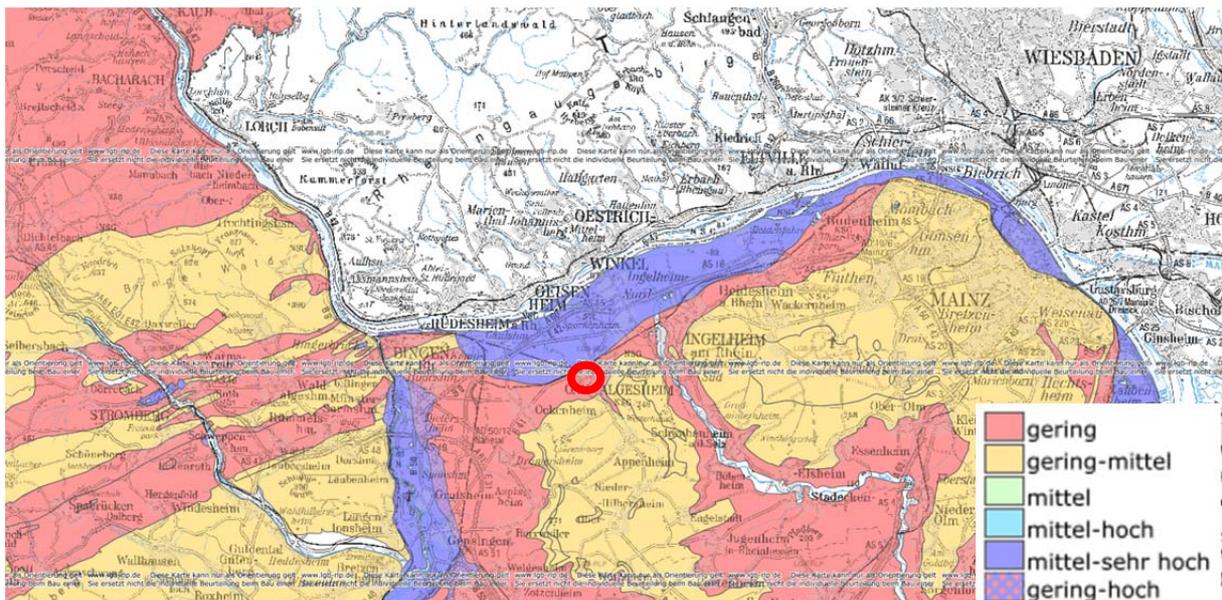


Abbildung 10: Grundwasserergiebigkeit (Quelle: <https://mapclient.lgb-rlp.de>, Abfrage vom 29.05.2019)

Der Obere Grundwasserleiter ist ein Poren-/Kluftgrundwasserleiter mit einer am Standort voraussichtlich geringen bis äußerst geringen Durchlässigkeit (k_f -Werte von 10^{-9} m/s bis 10^{-5} m/s). Die Ergiebigkeit wird als gering eingestuft.

3.4 Bewertung der geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen

Gem. den vorliegenden Informationen, ist eine geothermische Grundwassernutzung in den oberen Mergelserien nicht möglich. Möglicherweise kann in den unterlagernden Sandsteinen des Rotliegend eine ausreichende Wassermenge angetroffen werden. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass dieses Wasser einen hohen Eisengehalt aufweisen und daher für eine geothermische Nutzung ungeeignet sein wird.

Bewertung

Aufgrund des sehr hohen Erschließungsaufwandes und des hydrogeologischen Fündigkeitsrisikos sowie ggf. erhöhten Eisen-/Mangangehalten im Grundwasser wird eine Fortführung der Planung in Richtung Brunnendublette **nicht** empfohlen.

Eine geothermische Nutzung des Untergrundes mittels Erdwärmesonden ist aus technischer Sicht möglich. Jedoch ist für den oberen Bereich (ca. 100m) der Mergelserien mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit als in dem unterlagernden Rotliegend zu rechnen. Anhand der prognostizierten Schichtenfolge unter Berücksichtigung der Richtlinie VDI 4640-1 und eigener Messungen aus umliegenden Ortschaften können dem Untergrund folgende thermischen Untergrundparameter zugeordnet werden (jew. als Mittelwert über die Sondenlänge):

	Tiefe 100m	Tiefe 200m
Wärmeleitfähigkeit	1,9 W/(m,K)	2,5 W/(m,K)
Ungestörte Erdreichtemperatur	13,5 °C	15,0 °C

Für eine erste Auslegungsberechnung mit vorliegenden Gebäudedaten im Rahmen diese Machbarkeitsstudie sind diese Angaben ausreichend. Bei einer späteren Planung einer Erdwärmesondenanlage müssen dann am Projektstandort 1-2 Thermal Response Tests zur Verifizierung der Schätzwerte und Feststellung der Bohrbarkeit ausgeführt werden.

4. Genehmigungsrechtliche Randbedingungen

Die grundsätzliche Genehmigungsfähigkeit einer Anlage der oberflächennahen Geothermie am Standort des NBG "Im Steinert" ist gegeben.

Genehmigungsfähigkeit

Der geplante Standort befindet sich außerhalb eines Wasser- oder Heilquellenschutzgebietes. (Abbildung 11).

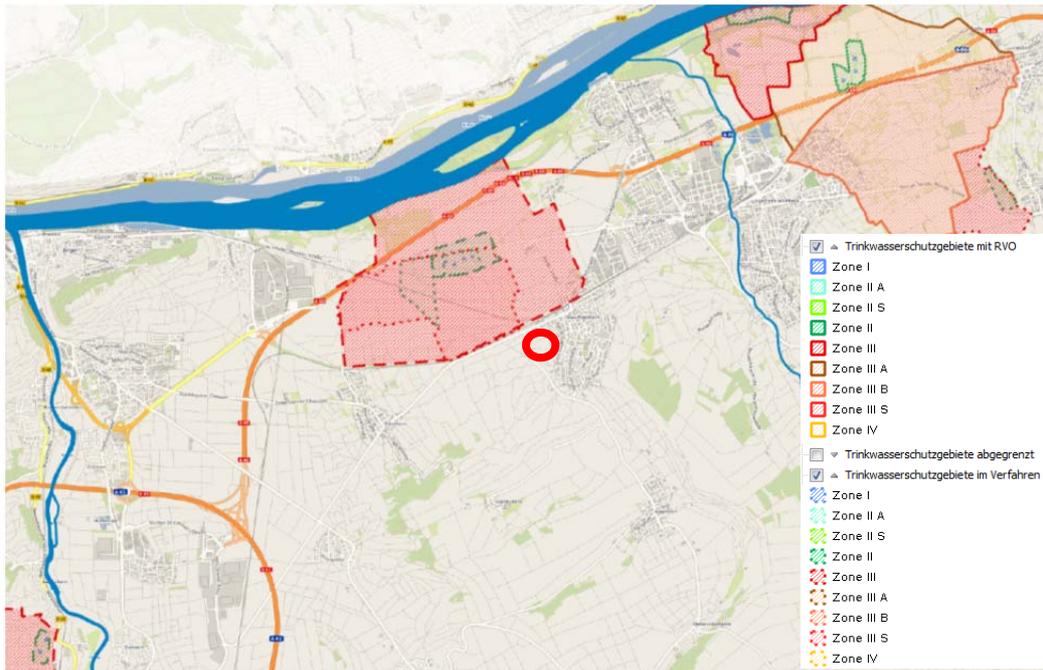


Abbildung 11: Wasserschutzgebiete mit Lage des Projektareals (Quelle: <https://geoportal-wasser.rlp-umwelt.de/servlet/is/2025/>)

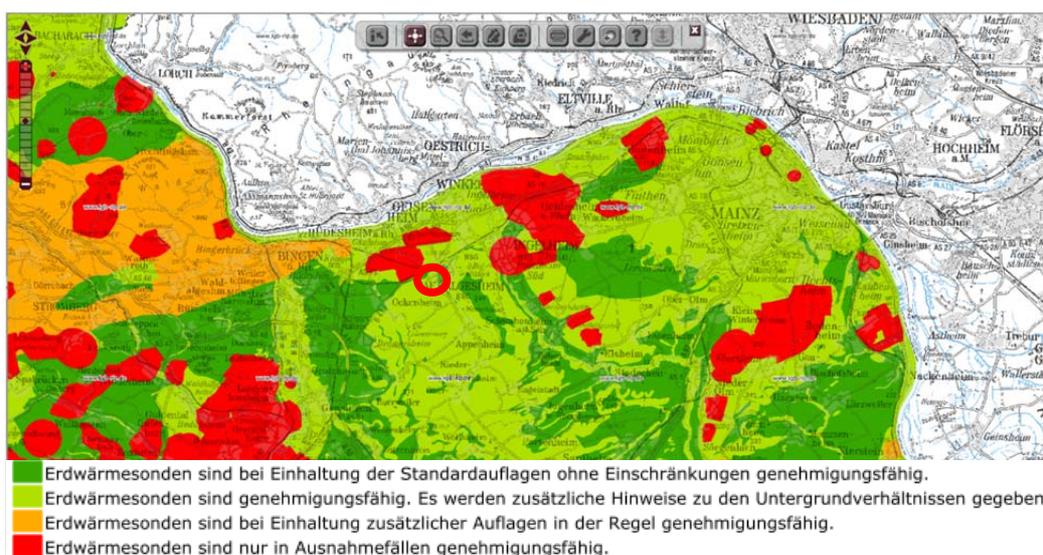


Abbildung 12: Wasserwirtschaftliche und hydrogeologische Standortbewertung (Quelle: <https://mapclient.lgb-rlp.de>, Abfrage vom 29.05.2019)

Gemäß der wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Standortbeurteilung (Abbildung 12) liegt das Projektareal in einem Bereich in dem Erdwärmesonden genehmigungsfähig sind, jedoch werden zusätzliche Hinweise zu den Untergrundverhältnissen gegeben, die unter Umständen die Einhaltung zusätzlicher Auflagen erfordern.

Standortbeurteilung

Eine Anfrage bei der SGD Süd hinsichtlich der zu erwartenden zusätzlichen Hinweise und Auflagen ergab, dass das Areal in einem vermuteten Rutschgebiet liegt. Per Email (vom 07.06.2019) wurden folgende Hinweise übermittelt:

„Auch wenn keine Hinweise auf aktive Hangbewegungen vorliegen, können längerfristige Kriechbewegungen nicht ausgeschlossen werden. Einen großen Einfluss auf die Aktivierung bzw. Reaktivierung alter Gleitschollen können beispielsweise überdurchschnittliche starke oder langanhaltende Niederschläge haben. Zeitliche Prognosen dazu sind nicht möglich.

Da es im Fall von Kriechbewegungen des Hanges langfristig zu Beeinträchtigungen der Funktionalität von EWS und möglichen Folgeauswirkungen kommen kann, wird aus ingenieurgeologischer Sicht vorsorglich auf dieses mögliche Restrisiko hingewiesen und vom Einbau von EWS in nachgewiesenen und potenziellen Rutschgebieten abgeraten. Sofern aus ingenieurgeologischer Sicht keine Bedenken bezüglich der Standsicherheit bei einem Eingriff in den Hang besteht, können aus wasserwirtschaftlicher Sicht Erdwärmesonden zugelassen werden, wenn diese mit reinem Wasser als Wärmeträgermedium befüllt werden.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht bleiben die Sondenbohrungen jedoch abzulehnen, wenn es beim Abscheren der Sonden zum Austreten wassergefährdender Stoffe in den Untergrund und das Grundwasser kommen kann.

Sofern abweichend von der Empfehlung des LGB Erdwärmesonden am geplanten Standort errichtet werden, wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der Bauherrschaft das Restrisiko bekannt sein sollte. Das Risiko bei den Bohrungen und eventueller Folgeschäden liegt beim Bauherren.“

Aufgrund der Größe des Vorhabens und der grundstücksüberschreitenden Nutzung kann eine Betriebsgenehmigung nur im Rahmen einer bergrechtlichen Bewilligung erfolgen. Zuständig für die Genehmigung ist somit das LGB als Bergbehörde, wobei die Bewilligung bzw. die Erlaubnis im Einvernehmen mit der zuständigen Wasserbehörde (SGD Süd) erteilt wird.

Bergrecht

Genehmigungsbehörde: Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz
 Abteilung 2 - Geologie
 Emy-Roeder-Straße 5
 55129 Mainz
 Tel: 06131 / 9254 - 0

Eine Bewilligung kann nur erteilt werden, wenn bestehende Rechte Dritter nicht durch den Anlagenbetrieb tangiert werden. Die Abbildung 13 zeigt einen Ausschnitt aus der Berechtsamskarte. Im Projektgebiet existieren keine weiteren Gewinnungsberechtigungen, so dass eine Bewilligung voraussichtlich erteilt werden kann.

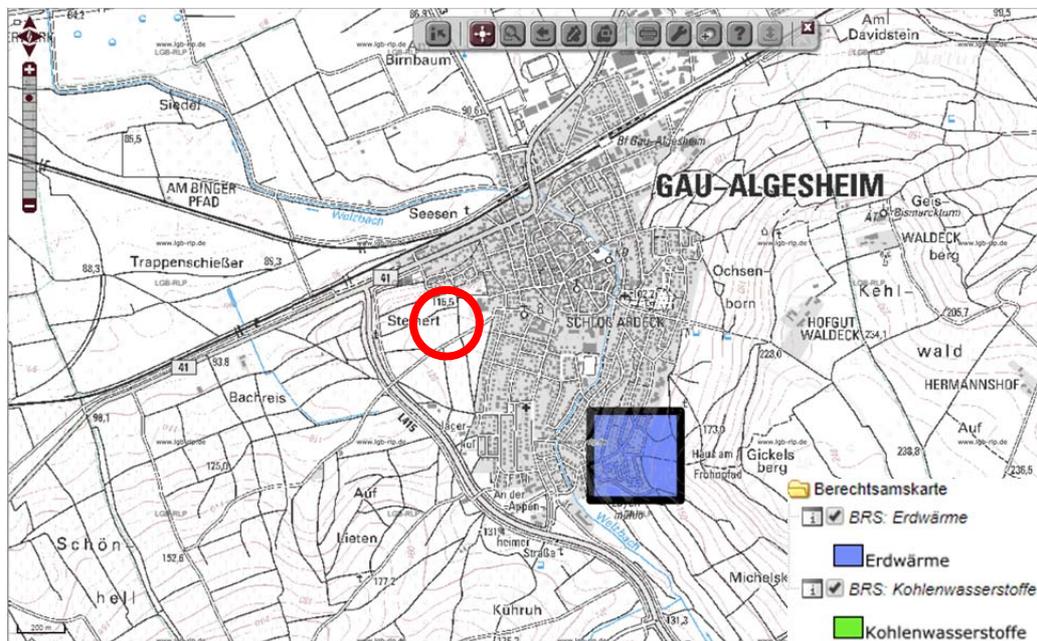


Abbildung 13: Berechtsamskarte (Quelle: <https://mapclient.lgb-rlp.de>, Abfrage vom 29.05.2019)

Aufgrund des im Mai 2017 erlassenen Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) bedürfen Erdwärmesondenbohrungen von mehr als 100m Tiefe zurzeit eine besondere Freigabe durch die geologischen Landesbehörden bzw. das Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit.

Hinweis StandAG

5. Auslegungsberechnung EWS-Feld

Für die Dimensionierung des Erdwärmesondenfeldes wurden Berechnungen mit der Software Earth Energy Designer (EED) durchgeführt. Im Anhang sind Informationen zu EED dargestellt, sowie einige wichtige Eingangsparameter für die Berechnung und deren Einflüsse erläutert.

Berechnungen

Es ist anzumerken, dass die Nachhaltigkeit der ausgelegten Anlage von deren späterer Betriebsweise abhängig ist. Wird die Anlage signifikant anders betrieben als es für die Berechnungen angenommen wurde, so werden sich auch die Temperaturverläufe des Wärmeträgerfluids anders entwickeln.

Bei den in den nachfolgenden Abschnitten dargestellten Graphiken der Temperaturverläufe ist folgendes zu beachten: Die dargestellten Temperaturen beziehen sich auf die Mitteltemperatur des Wärmeträgerfluids, d.h. bei einer Spreizung von 4 K sind die Eintrittstemperaturen in die Wärmepumpe im Heizfall ca. 2 K höher als in den Graphiken abzulesen.

5.1 Gebäudedaten

Da keine neueren Bedarfsdaten vorliegen, werden die Angaben aus der Studie „Vergleichsbetrachtung zur Energieversorgung des Neubaugebiets „Im Steinert“ in Gau-Algesheim“ vom 04.05.2019, erstellt von der Transferstelle Bingen (TSB) in der ITB gGmbH, zugrunde gelegt:

Gebäudedaten

Heizleistung der Wärmepumpen:	535 kW
Gleichzeitigkeitsfaktor:	0,8
Rechenwert Heizleistung:	428 kW
Jahresheizarbeit:	559 MWh
Jahresarbeitszahl:	4,1

Für die Berechnung einer Erdwärmesondenanlage ist die Verteilung der Heizarbeit über das Jahr mindestens in monatlicher Auflösung erforderlich. Die Verteilung erfolgt gem. den Default-Werten der verwendeten Simulationssoftware (EED) wie in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Jährliche Verteilung der Heizarbeit

	Heizarbeit [%]
Januar	15,5
Februar	14,8
März	12,5
April	9,9
Mai	6,4
Juni	--
Juli	--
August	--
September	6,1
Oktober	8,7
November	11,7
Dezember	14,4
Summe	100,0

Eine passive bzw. direkte Gebäudekühlung ist vorgesehen.

Durch den sommerlichen Wärmeeintrag aus der Gebäudekühlung wird der durch den winterlichen Heizbetrieb abgekühlte Untergrund teilweise wieder regeneriert. Wird bei der Sondenfeldberechnung der Regenerationseffekt berücksichtigt, kann die Anzahl der benötigten Sondenmeter verringert werden. Dies bedingt jedoch, dass die Kühlung dann auch tatsächlich in dem angesetzten Umfang genutzt wird. Bei einer individuellen Wohnnutzung kann dies i.d.R. nicht sichergestellt werden, so dass in den nachfolgenden Berechnungsläufen der Regenerationseffekt nicht berücksichtigt wird.

5.2 Konvergenzkriterien

Bei der Betrachtung der Temperaturen im Solekreislauf ist zu unterscheiden zwischen: **Basislast** der Fluidtemperatur, die sich infolge des Wärmeentzugs rechnerisch im Monatsmittel einstellt (als zeitlicher und geometrischer Mittelwert) und der **Spitzenlast** der Fluidtemperatur, die sich infolge eines z.B. 5-stündigen Dauerbetriebes der Wärmepumpe unter Vollast einstellt.

Konvergenz- kriterien

Die ungestörte Erdreichtemperatur als Mittelwert über die Sondentiefe von 200m wird mit 15°C (bzw. 13,5°C bei 100m) angesetzt. Diese Temperatur wird auch anfänglich beim ersten Anschalten der Wärmepumpe als Vorlauftemperatur aus dem Erdreich zu erwarten sein. Infolge des Wärmeentzuges wird es im Erdreich zu einer Abkühlung kommen, so dass es zu einem stetigen Abfall der Temperaturen bis zu den genannten Temperaturkriterien kommen wird. Mit abnehmender Anforderung (Frühlingsanfang = geringere Heizarbeit) steigt die Temperatur langsam wieder an.

Als Temperaturgrenzen bzw. als Auslegekriterien werden für den Betrieb mit Sole angenommen (gem. VDI 4640-2 Gründruck von 05-2015):

Soletemperatur im Rücklauf von WP zu den EWS

im Monatsdurchschnitt

nicht unter 0,0 °C

minimale Fluidtemperatur im Rücklauf

von WP zu den EWS

nicht unter -5,0 °C

Für den Betrieb mit reinem Wasser (ohne Frostschutzmittel) wird eine minimale zulässige Rücklauftemperatur im Rücklauf von den WP zu den EWS von + 4,0 °C angesetzt. Die zulässige Mindesttemperatur kann jedoch je nach Wärmepumpenhersteller abweichen.

5.3 Auslegungsberechnung

Die Auslegungsberechnungen werden mit dem Programm EED 3 (Earth Energy Designer) ausgeführt.

In den folgenden Abschnitten werden Varianten mit Einsatz von Sole und reinem Wasser als Wärmeträgermedium betrachtet. Weiterhin werden Varianten mit einer EWS-Länge von 100m und 200m betrachtet.

5.3.1 Berechnung 1: EWS mit Sole, 200m, Linienanordnung

Folgende Parameter liegen der Berechnung zu Grunde:

Berechnung 1

Erdwärmesondenlänge:	ca. 200 m
Anzahl der Erdwärmesonden:	25 St. (5.000 m Gesamtsondenlänge)
Sondentyp:	Doppel-U-Sonde (4 x 40 mm x 3,7 mm)
Bohrlochdurchmesser:	ca. 170 mm
Sondenabstand:	ca. 10 m
Anordnung der Erdwärmesonden:	1 Linie



Abbildung 14: Mögliche Positionierung Erdwärmesondenfeld

Verfüllung: thermisch verbessert mit $\lambda \geq 1,8 \text{ W/(m,K)}$
 Sondenfüllung: Wasser-Glykol-Gemisch (25%)

Therm. Untergrundeigenschaften:

Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 2,5 \text{ W/(m,K)}$
 Ungestörte Erdreichtemperatur $T_0 = 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Heizen:

Heizleistung: 428 kW
 Jahresheizarbeit: 559 MWh/a
 JAZ: 4,1
 Entzugsleistung: 324 kW

Umwälzrate EWS-Kreislauf: mind. $2,1 \text{ m}^3/\text{h}$ je EWS bei Vollauslastung
 (turbulente Fließverhältnisse)
 $52,5 \text{ m}^3/\text{h}$ insgesamt
 daraus ergibt sich $\Delta T = 5,9 \text{ K}$

Der in Abbildung 15 dargestellte Temperaturverlauf der mittleren Fluidtemperaturen ergibt sich nach der Berechnung für das 25. Betriebsjahr.

Die Abbildung 16 zeigt die voraussichtliche Entwicklung der minimalen und maximalen mittleren Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre.

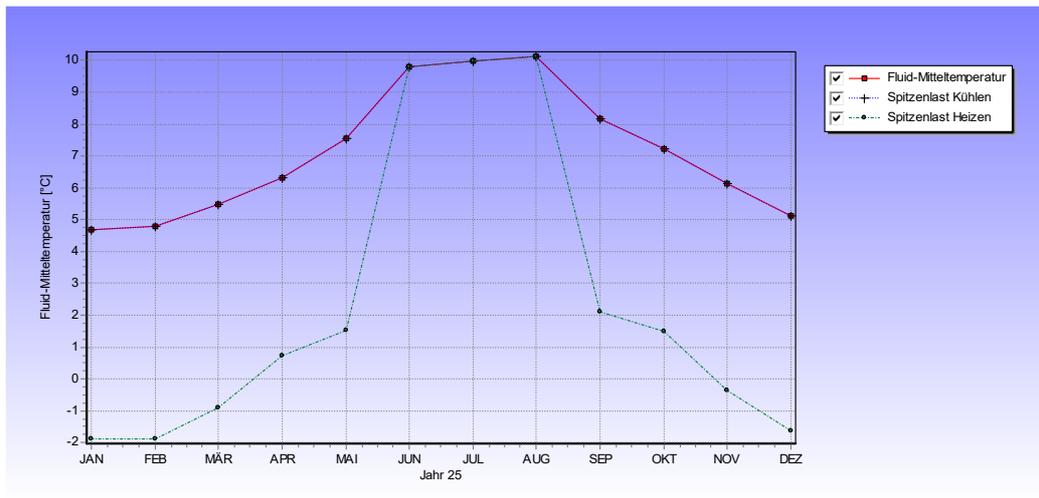


Abbildung 15: Mittlere Fluidtemperaturen im 25. Betriebsjahr

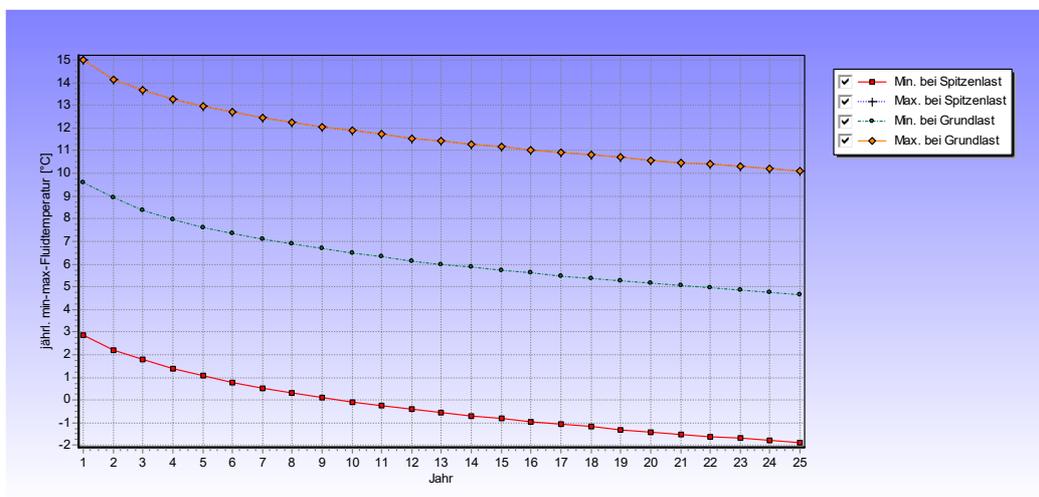


Abbildung 16: Entwicklung der Mittelwerte der Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre

Die Berechnung zeigt, dass bei Verwendung von Sole als Wärmeträgermedium zur Darstellung der gebäudeseitigen Bedarfsdaten ein Sondenfeld bestehend aus 25 EWS mit einer Länge von jeweils 200m erforderlich ist. Die EWS sind in einer Reihe anzuordnen und mit einem Abstand von mindestens 10m zu errichten.

Die Verfüllung des Bohrlochringraumes muss mit thermisch verbessertem Material erfolgen.

Die Umwälzrate im Erdwärmesondenkreislauf muss unter Volllast (= 80% von 535 kW) mindestens 2,1 m³/h je EWS betragen. Diese Rate ist erforderlich, damit turbulente Fließverhältnisse vorliegen. Dadurch erhöht sich zwar der hydraulische Widerstand, jedoch verringert sich der thermische Bohrlochwiderstand erheblich. Bei geringerem Durchfluss herrschen laminare Strömungsverhältnisse. Zur Kompensation des dann größeren thermischen Bohrlochwiderstandes und der größeren Temperaturdifferenz im Solekreis müssten bei sonst gleich bleibenden Randbedingungen zusätzliche Erdwärmesonden errichtet werden. Bei einer Durchflussrate von z.B. 1,6 m³/h je EWS wären insgesamt 30 x 200m EWS erforderlich.

Maßgeblicher Konvergenzfaktor für die Felddimensionierung ist die Heizleistung. Bei gleichbleibender Heizarbeit kann die erforderliche Sondenanzahl reduziert werden, wenn die Heizleistung verringert wird. Eine gleichzeitige Konvergenz für Heizleistung und Heizarbeit wird bei einer Heizleistung von 310 kW erreicht. Das Sondenfeld wäre dann mit 22 x 200m ausreichend groß dimensioniert.

5.3.2 Berechnung 2: EWS mit Sole, 200m, Clusteranordnung

Für die Berechnung 1 wurde angenommen, dass die Erdwärmesonden in einer Linie, am Rand des westlichen Grünstreifens positioniert werden können. Falls dies nicht möglich ist, stehen westlich des NBG Alternativflächen zur Verfügung. Hier ist jedoch eine reine Linienanordnung nicht möglich.

Berechnung 2

Folgende Parameter liegen der Berechnung zu Grunde:

Erdwärmesondenlänge:	ca. 200 m
Anzahl der Erdwärmesonden:	31 St. (6.200 m Gesamtsondenlänge)
Sondentyp:	Doppel-U-Sonde (4 x 40 mm x 3,7 mm)
Bohrlochdurchmesser:	ca. 170 mm
Sondenabstand:	ca. 10 m
Anordnung der Erdwärmesonden:	3 Reihen á 10 EWS + 1 EWS

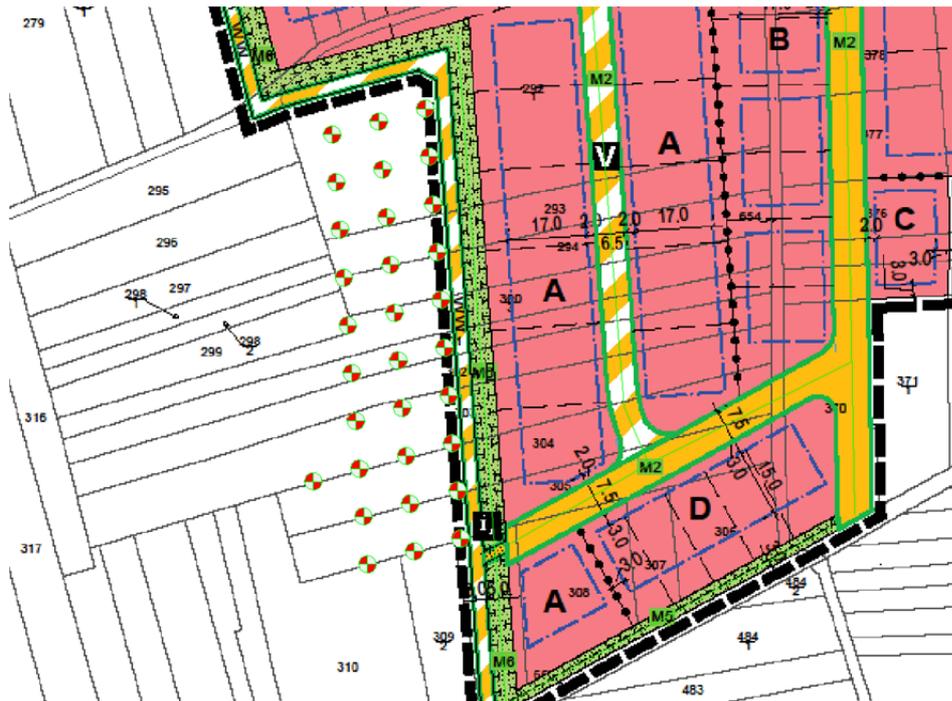


Abbildung 17: Mögliche Positionierung Erdwärmesondenfeld

Verfüllung: thermisch verbessert mit $\lambda \geq 1,8 \text{ W/(m,K)}$
 Sondenfüllung: Wasser-Glykol-Gemisch (25%)

Therm. Untergrundeigenschaften:

Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 2,5 \text{ W/(m-K)}$
 Ungestörte Erdreichtemperatur $T_0 = 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Heizen:

Heizleistung: 428 kW
 Jahresheizarbeit: 559 MWh/a
 JAZ: 4,1
 Entzugsleistung: 324 kW

Umwälzrate EWS-Kreislauf: mind. $2,1 \text{ m}^3/\text{h}$ je EWS bei Volllastung
 (turbulente Fließverhältnisse)
 $65 \text{ m}^3/\text{h}$ insgesamt
 daraus ergibt sich $\Delta T = 4,7\text{K}$

Der in Abbildung 18 dargestellte Temperaturverlauf der mittleren Fluidtemperaturen ergibt sich nach der Berechnung für das 25. Betriebsjahr.

Die Abbildung 19 zeigt die voraussichtliche Entwicklung der minimalen und maximalen mittleren Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre.

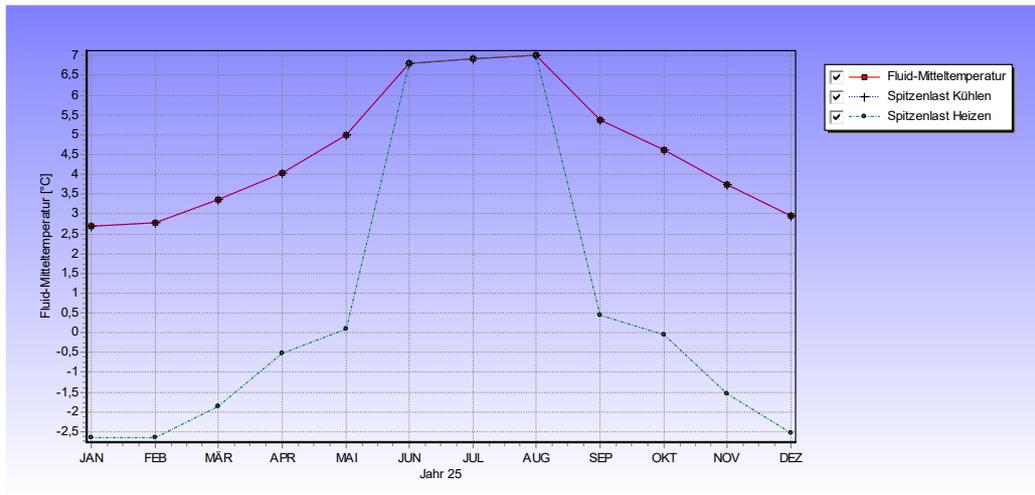


Abbildung 18: Mittlere Fluidtemperaturen im 25. Betriebsjahr

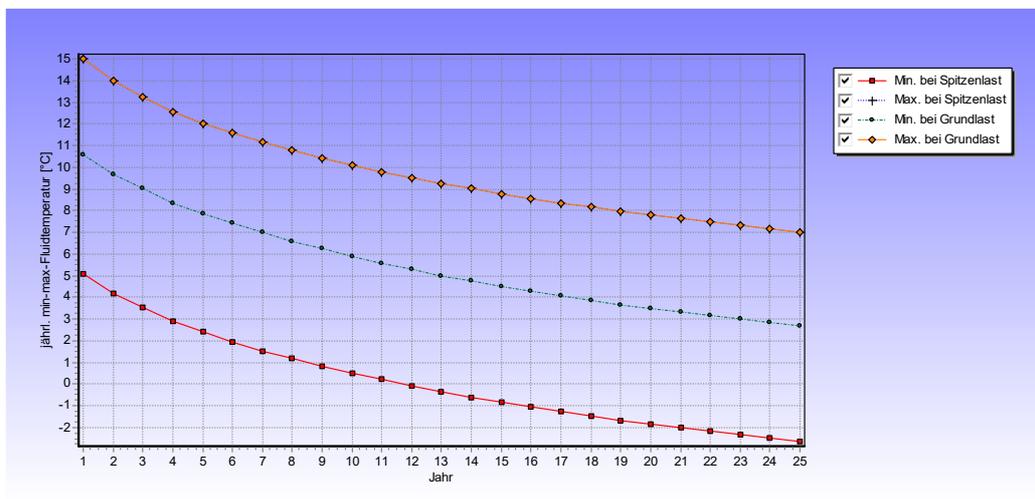


Abbildung 19: Entwicklung der Mittelwerte der Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre

Für eine effiziente Gewinnung von Erdwärme ist generell vorteilhaft, wenn ein möglichst großes Bodenvolumen erschlossen wird und die Erdwärmesonden sich möglichst wenig gegenseitig beeinflussen. Die optimale Anordnung bei einem überwiegenden Heizbetrieb ist daher die Linie, hier hat jede EWS maximal 2 Nachbarn durch die sie beeinflusst werden können. Bei der Clusteranordnung werden die inneren Sonden von 8 EWS direkt umgeben und entsprechend ungünstig beeinflusst. Dementsprechend sind insgesamt mehr Erdwärmesonden erforderlich, um die gleichen Leistungsdaten bei vergleichbarem Temperaturverlauf darstellen zu können.

Bei einer Anordnung in Reihen zu max. 10 EWS sind gegenüber der Linienanordnung 6 weitere Erdwärmesonden (insgesamt 31 x 200m) erforderlich, um die gewünschten Bedarfsdaten abdecken zu können.

Die Verfüllung des Bohrlochringraumes muss mit thermisch verbessertem Material erfolgen.

Die Umwälzrate im Erdwärmesondenkreislauf muss unter Volllast (= 80% von 535 kW) mindestens 2,1 m³/h je EWS betragen.

Eine Reduzierung der Heizleistung (analog zu Berechnungslauf 1) bringt keine nennenswerte Einsparung, da bei dieser Konfiguration die Konvergenz sowohl für die Heizleistung als auch die Heizarbeit bereits erreicht wurde.

5.3.3 Berechnung 3: EWS mit Sole, 100m, Linienanordnung

Falls Bohrtiefen von 200m nicht realisiert werden können (z.B. aufgrund fehlender Standfestigkeit des Gebirges), wird nachfolgend für eine EWS-Tiefe von 100m die erforderliche Feldkonfiguration ermittelt.

Berechnung 3

Als Wärmeträgermedium wird Sole eingesetzt.

Folgende Parameter liegen der Berechnung zu Grunde:

Erdwärmesondenlänge:	ca. 100 m
Anzahl der Erdwärmesonden:	71 St. (7.100 m Gesamtsondenlänge)
Sondentyp:	Doppel-U-Sonde (4 x 32 mm x 3,0 mm)
Bohrlochdurchmesser:	ca. 150 mm
Sondenabstand:	ca. 10 m
Anordnung der Erdwärmesonden:	Linien

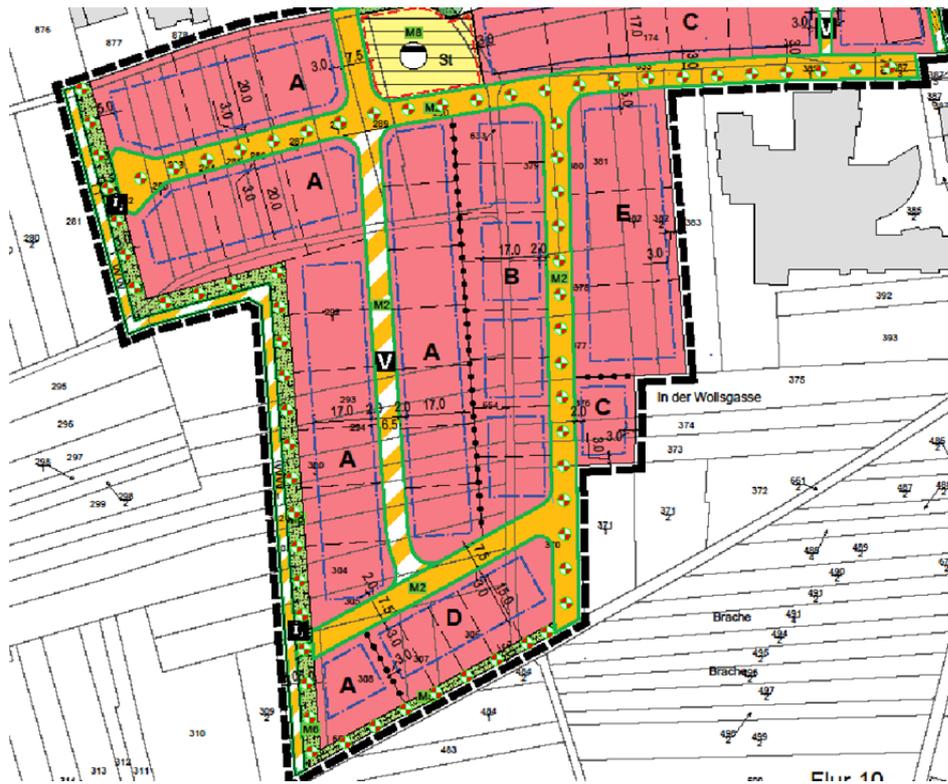


Abbildung 20: Mögliche Positionierung Erdwärmesondenfeld

Verfüllung: thermisch verbessert mit $\lambda \geq 1,8 \text{ W/(m,K)}$
 Sondenfüllung: Wasser-Glykol-Gemisch (25%)

Therm. Untergrundeigenschaften:

Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 1,9 \text{ W/(m-K)}$
 Ungestörte Erdreichtemperatur $T_0 = 13,5 \text{ °C}$

Heizen:

Heizleistung: 428 kW
 Jahresheizarbeit: 559 MWh/a
 JAZ: 4,1
 Entzugsleistung: 324 kW

Für eine turbulente Strömung in den EWS muss die Umwälzrate $1,7 \text{ m}^3/\text{h}$ je EWS betragen. Voraussichtlich kann die erforderliche Gesamtpumprate nicht erreicht werden. Es werden daher laminare Strömungsverhältnisse bei einer Temperaturdifferenz im EWS-Kreis von $\Delta T = 6 \text{ K}$ (Gesamtdurchfluss ca. $51 \text{ m}^3/\text{h}$) angenommen.

Der in Abbildung 21 dargestellte Temperaturverlauf der mittleren Fluidtemperaturen ergibt sich nach der Berechnung für das 25. Betriebsjahr.

Die Abbildung 22 zeigt die voraussichtliche Entwicklung der minimalen und maximalen mittleren Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre.

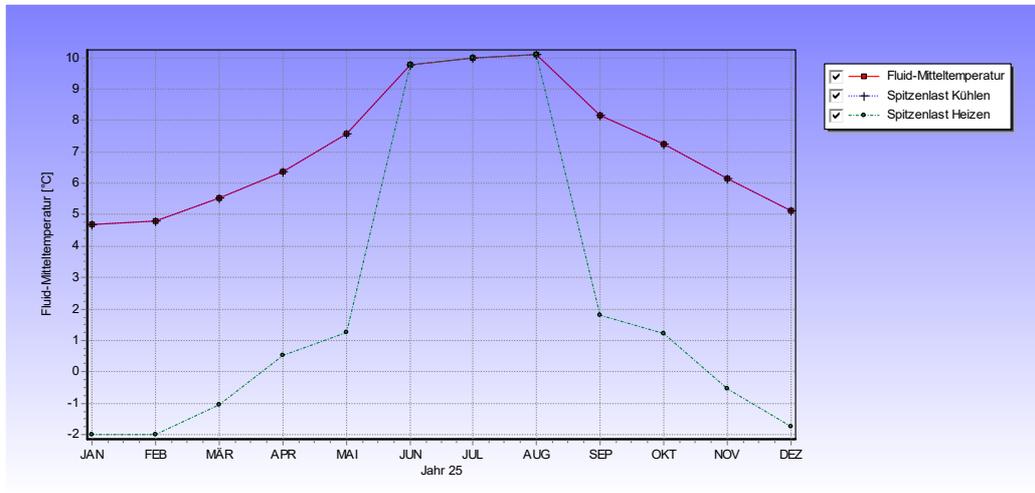


Abbildung 21: Mittlere Fluidtemperaturen im 25. Betriebsjahr

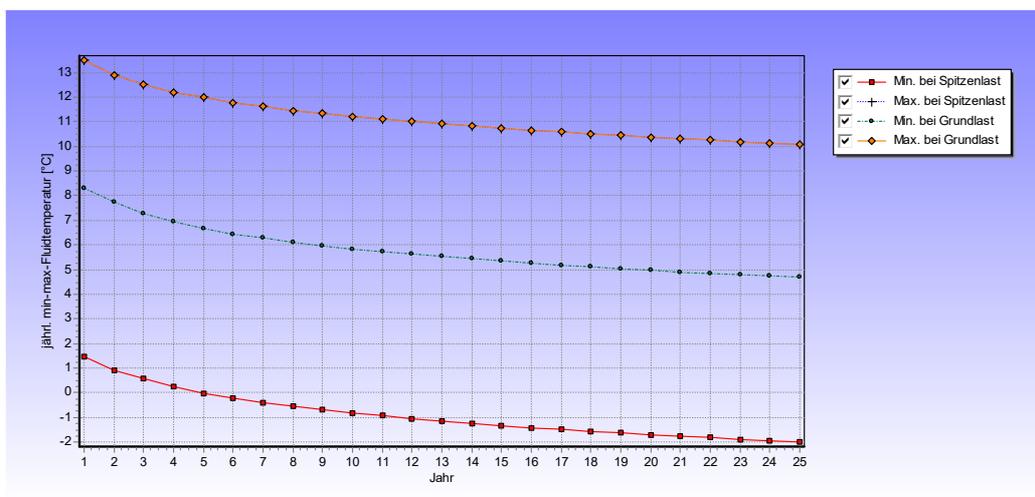


Abbildung 22: Entwicklung der Mittelwerte der Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre

Die Berechnung zeigt, dass bei Verwendung von Sole als Wärmeträgermedium und Begrenzung der Sondentiefe auf 100m zur Darstellung der gebäudeseitigen Bedarfsdaten ein Sondenfeld bestehend aus 71 EWS erforderlich ist. Die EWS sind in Reihen anzuordnen und mit einem Abstand von mindestens 10m zu errichten.

Die Verfüllung des Bohrlochringraumes muss mit thermisch verbessertem Material erfolgen.

Maßgeblicher Konvergenzfaktor ist die Heizleistung. Bei gleich bleibender Heizarbeit kann die erforderliche Sondenanzahl reduziert werden, wenn die Heizleistung reduziert wird. Eine gleichzeitige Konvergenz für Heizleistung und Heizarbeit wird bei einer Heizleistung von 310 kW erreicht. Das Sondenfeld wäre dann mit 60 x 100m ausreichend groß dimensioniert.

5.3.4 Berechnung 4: EWS mit Sole, 100m, Clusteranordnung

Für die Berechnung 3 wurde angenommen, dass die Erdwärmesonden in mehreren Linien, am Rand des westlichen und südlichen Grünstreifens sowie im Straßenbereich positioniert werden können. Falls dies nicht möglich ist, wird mit dem Berechnungslauf 4 geprüft, wie ein Sondenfeld konfiguriert werden muss, wenn die Anordnung in einem Viereck (Cluster) angeordnet werden muss. Dieses kann dann entweder außerhalb des Neubaugebietes (z.B. westlich) positioniert werden oder verteilt unter den Gebäuden des NBG.

Berechnung 4

Als Wärmeträgermedium wird Sole eingesetzt.

Folgende Parameter liegen der Berechnung zu Grunde:

Erdwärmesondenlänge:	ca. 100 m
Anzahl der Erdwärmesonden:	110 St. (11.000 m Gesamtsondenlänge)
Sondentyp:	Doppel-U-Sonde (4 x 32 mm x 3,0 mm)
Bohrlochdurchmesser:	ca. 150 mm
Sondenabstand:	ca. 10 m
Anordnung der Erdwärmesonden:	11 x 10 Rechteck 100m x 90m (9.000m ²)
Verfüllung:	thermisch verbessert mit $\lambda \geq 1,8 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Sondenfüllung:	Wasser-Glykol-Gemisch (25%)

Therm. Untergrundeigenschaften:

Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = 1,9 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Ungestörte Erdreichtemperatur	$T_0 = 13,5 \text{ °C}$

Heizen:

Heizleistung:	428 kW
Jahresheizarbeit:	559 MWh/a
JAZ:	4,1
Entzugsleistung:	324 kW

Für eine turbulente Strömung in den EWS muss die Umwälzrate $1,7\text{m}^3/\text{h}$ je EWS betragen. Voraussichtlich kann die erforderliche Gesamtpumprate nicht erreicht werden. Es werden daher laminare Strömungsverhältnisse bei einer Temperaturdifferenz im EWS-Kreis von $\Delta T = 6\text{K}$ (Gesamtdurchfluss ca. $51\text{ m}^3/\text{h}$) angenommen.

Der in Abbildung 23 dargestellte Temperaturverlauf der mittleren Fluidtemperaturen ergibt sich nach der Berechnung für das 25. Betriebsjahr.

Die Abbildung 24 zeigt die voraussichtliche Entwicklung der minimalen und maximalen mittleren Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre.

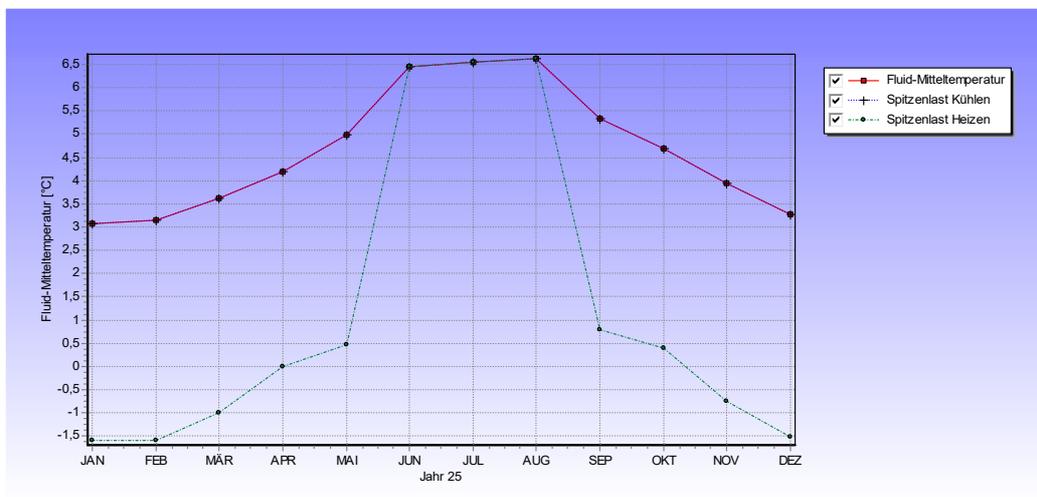


Abbildung 23: Mittlere Fluidtemperaturen im 25. Betriebsjahr

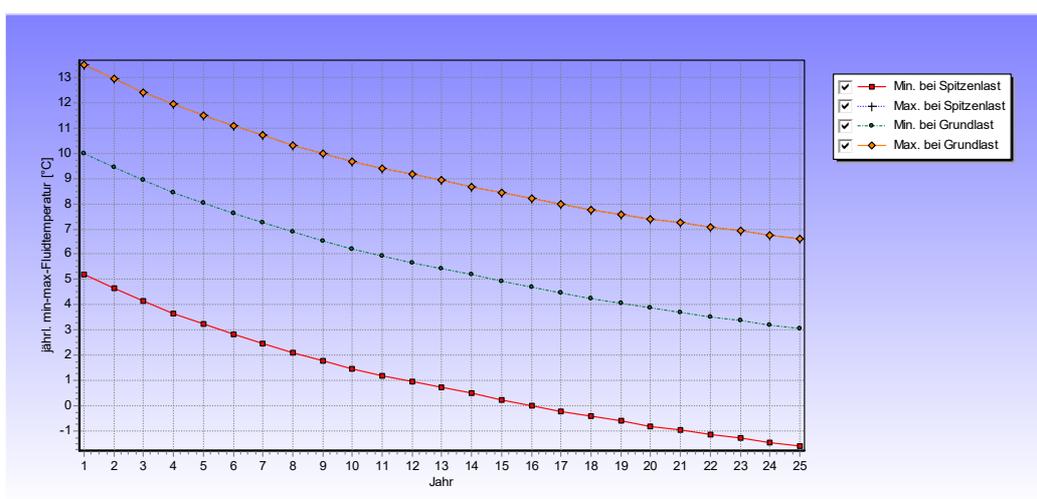


Abbildung 24: Entwicklung der Mittelwerte der Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre

Die Berechnung zeigt, dass bei Verwendung von Sole als Wärmeträgermedium und Anordnung der Erdwärmesonden in einem Rechteckcluster 110 Erdwärmesonden mit einer Länge von 100m auszuführen sind, um die gebäudeseitigen Bedarfsdaten darstellen zu können.

Die Verfüllung des Bohrlochringraumes muss mit thermisch verbessertem Material erfolgen.

Eine Reduzierung der Heizleistung (analog zu Berechnungslauf 3) bringt keine nennenswerte Einsparung, da bei dieser Konfiguration die Konvergenz sowohl für die Heizleistung als auch die Heizarbeit bereits erreicht wurde.

5.3.5 Berechnung 5: EWS mit Wasser, 200m, Linienanordnung

Nach den Auskünften der SGD Süd liegt das Baugebiet in einem vermuteten Rutschgebiet. Erdwärmesonden könnten daher nur dann genehmigt werden, wenn sie mit Trinkwasser (ohne Frostschutzmittel) befüllt sind. Gegenüber den Berechnungen mit Sole als Wärmeträgermittel muss daher die zulässige Mindesttemperatur auf deutlich über 0°C angehoben werden. Die zulässige Minimaltemperatur hängt vom Fabrikat der Wärmepumpen ab, bzw. welche Grenze durch den WP-Hersteller ohne Verfall der Gewährleistung akzeptiert wird. Für die Berechnungen wird angenommen, dass eine minimale Rücklauftemperatur (von der WP zu den EWS) von +4°C zugelassen wird.

Berechnung 5

Das Strömungsverhalten in den EWS wird laminar angenommen, die Temperaturdifferenz im EWS-Kreislauf mit $\Delta T = 4K$. Sollte die Kapazität der Umwälzpumpen der Wärmepumpen nicht ausreichend groß sein, muss in dem Gesamtkreislauf eine zusätzliche Pumpe installiert werden.

Folgende Parameter liegen der Berechnung zu Grunde:

Erdwärmesondenlänge:	ca. 200 m
Anzahl der Erdwärmesonden:	75 St. (15.000 m Gesamtsondenlänge)
Sondentyp:	Doppel-U-Sonde (4 x 40 mm x 3,7 mm)
Bohrlochdurchmesser:	ca. 170 mm
Sondenabstand:	ca. 10 m
Anordnung der Erdwärmesonden:	Linien
Verfüllung:	thermisch verbessert mit $\lambda \geq 1,8 \text{ W/(m,K)}$
Sondenfüllung:	Wasser (ohne Frostschutzmittel)

Therm. Untergrundeigenschaften:

Wärmeleitfähigkeit

$$\lambda = 2,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Ungestörte Erdreichtemperatur

$$T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Heizen:

Heizleistung:

428 kW

Jahresheizarbeit:

559 MWh/a

JAZ:

4,1

Entzugsleistung:

324 kW

Der in Abbildung 25 dargestellte Temperaturverlauf der mittleren Fluidtemperaturen ergibt sich nach der Berechnung für das 25. Betriebsjahr.

Die Abbildung 26 zeigt die voraussichtliche Entwicklung der minimalen und maximalen mittleren Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre.

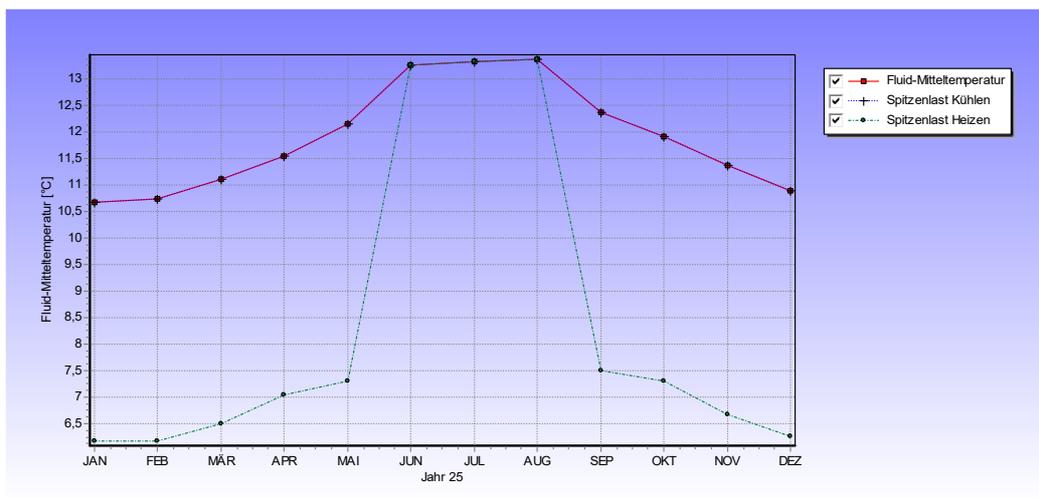


Abbildung 25: Mittlere Fluidtemperaturen im 25. Betriebsjahr

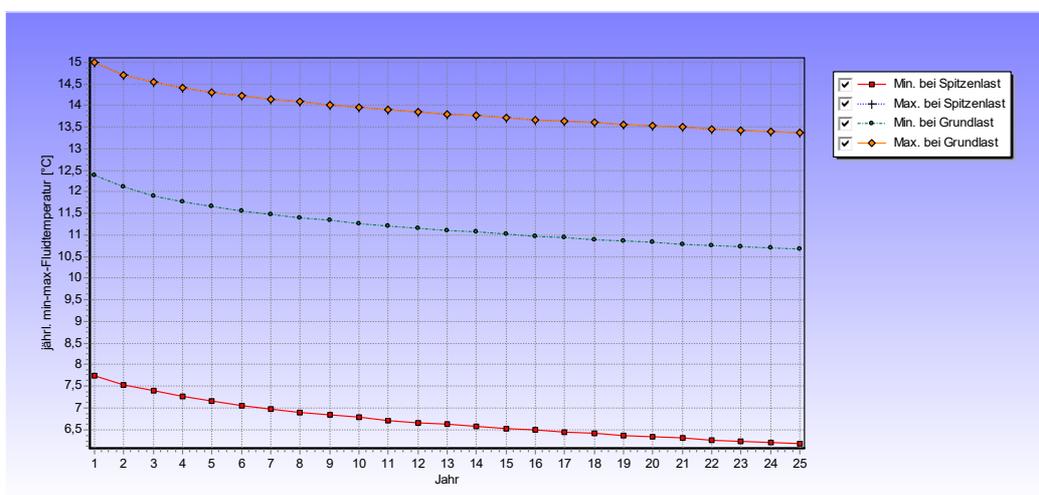


Abbildung 26: Entwicklung der Mittelwerte der Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre

Die Berechnung zeigt, dass bei Verwendung von Wasser als Wärmeträgermedium und Anordnung der Erdwärmesonden in Linien 75 Erdwärmesonden mit einer Länge von 200m auszuführen sind, um die gebäudeseitigen Bedarfsdaten darstellen zu können. Die Verfüllung des Bohrlochringraumes muss mit thermisch verbessertem Material erfolgen.

Maßgeblicher Konvergenzfaktor ist die Heizleistung. Bei gleich bleibender Heizarbeit kann die erforderliche Sondenanzahl reduziert werden, wenn die Heizleistung reduziert wird. Bei einer Heizleistung von 310 kW ist ein Sondenfeld bestehend aus 57 x 200m ausreichend. Bei einer weiteren Reduzierung auf 233 kW (was einer Volllaststundenzahl von 2.400 h/a entsprechen würde) kann die gewünschte Heizarbeit mit 51 x 200m EWS dargestellt werden.

Ggf. wäre zu prüfen, ob die Heizleistung verringert werden kann, unter z.B. Verwendung von (größeren) Zwischenspeichern und / oder zur Basislastabdeckung in Kombination mit einem zweiten Wärmeerzeuger zur Abdeckung von Spitzenlasten.

5.3.6 Berechnung 6: EWS mit Wasser, 200m, Clusteranordnung

Ausgehend von Berechnungslauf 5 wird ermittelt, wie ein Sondenfeld konfiguriert sein muss, wenn die Anordnung nicht entlang von Linien, sondern clusterförmig erfolgt.

Berechnung 6

Folgende Parameter liegen der Berechnung zu Grunde:

Erdwärmesondenlänge:	ca. 200 m
Anzahl der Erdwärmesonden:	105 St. (21.000 m Gesamtsondenlänge)
Sondentyp:	Doppel-U-Sonde (4 x 40 mm x 3,7 mm)
Bohrlochdurchmesser:	ca. 170 mm
Sondenabstand:	ca. 10 m
Anordnung der Erdwärmesonden:	Rechteck 10 x 10 + 5 Fläche: 100m x 90m = 9.000m ²

Verfüllung:	thermisch verbessert mit $\lambda \geq 1,8 \text{ W/(m,K)}$
Sondenfüllung:	Wasser (ohne Frostschutzmittel)

Therm. Untergrundeigenschaften:

Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = 2,5 \text{ W/(m·K)}$
Ungestörte Erdreichtemperatur	$T_0 = 15 \text{ °C}$

Heizen:

Heizleistung:	428 kW
Jahresheizarbeit:	559 MWh/a
JAZ:	4,1
Entzugsleistung:	324 kW

Der in Abbildung 27 dargestellte Temperaturverlauf der mittleren Fluidtemperaturen ergibt sich nach der Berechnung für das 25. Betriebsjahr.

Die Abbildung 28 zeigt die voraussichtliche Entwicklung der minimalen und maximalen mittleren Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre.

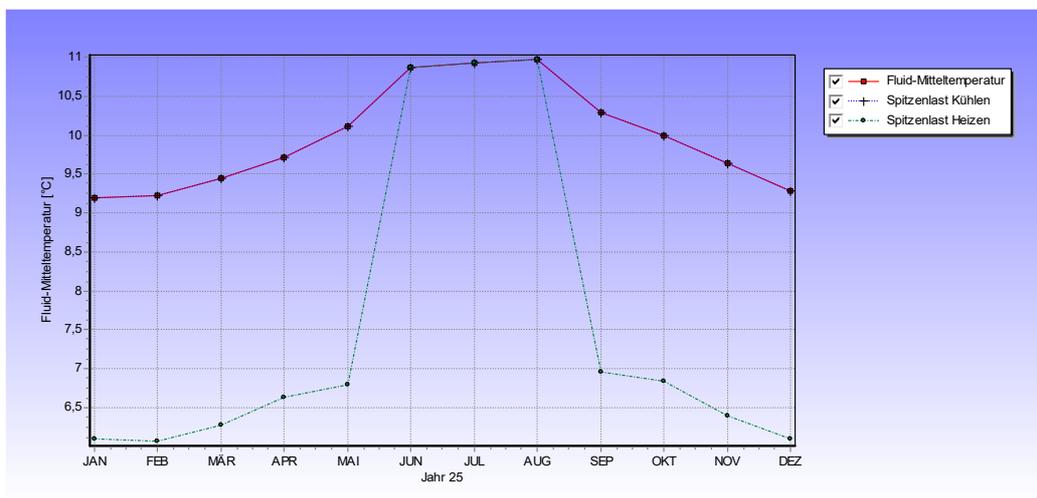


Abbildung 27: Mittlere Fluidtemperaturen im 25. Betriebsjahr

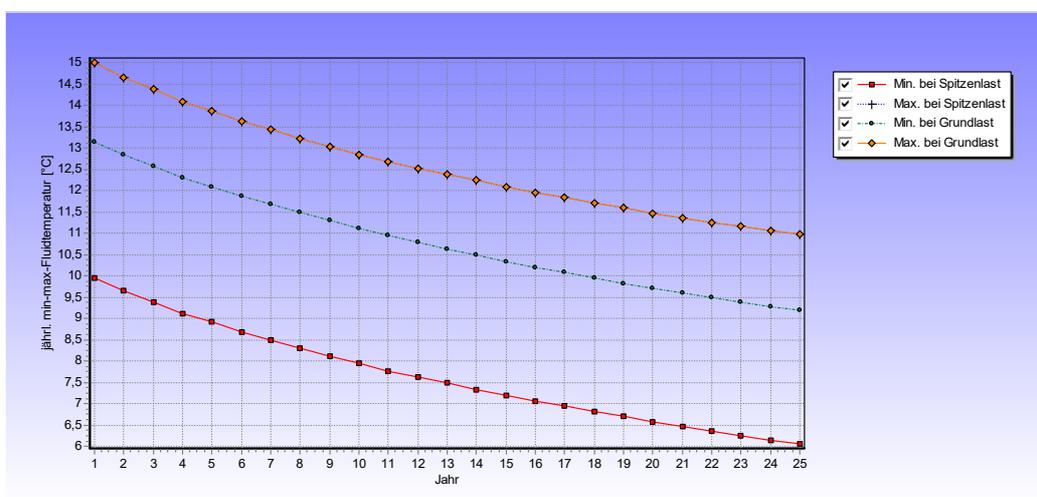


Abbildung 28: Entwicklung der Mittelwerte der Fluidtemperaturen über 25 Betriebsjahre

Die Berechnung zeigt, dass bei Verwendung von Wasser als Wärmeträgermedium und Anordnung der Erdwärmesonden in rechteckform 105 Erdwärmesonden mit einer Länge von 200m auszuführen sind, um die gebäudeseitigen Bedarfsdaten darstellen zu können.

Die gegenseitige Beeinflussung der EWS kann vermindert werden, wenn der Sondenabstand vergrößert wird. Kann dieser von 10m auf 15m erhöht werden, reichen 88 Erdwärmesonden (je 200m) aus. Die benötigte Gesamtfläche beträgt dann etwa 16.000 m².

Die Verfüllung des Bohrlochringraumes muss mit thermisch verbessertem Material erfolgen.

Maßgeblicher Konvergenzfaktor ist die Heizleistung. Bei gleich bleibender Heizarbeit kann die erforderliche Sondenanzahl reduziert werden, wenn die Heizleistung reduziert wird. Bei einer Heizleistung von 310 kW ist ein Sondenfeld bestehend aus 88 x 200m ausreichend (72 x 200m bei 15m EWS-Abstand). Bei einer weiteren Reduzierung auf 233 kW (was einer Volllaststundenzahl von 2.400 h/a entsprechen würde) kann die gewünschte Heizarbeit mit 78 x 200m EWS dargestellt werden (bzw. 61 x 200m bei 15m EWS-Abstand).

Ggf. wäre zu prüfen, ob die Heizleistung verringert werden kann, unter z.B. Verwendung von (größeren) Zwischenspeichern und / oder zur Basislastabdeckung in Kombination mit einem zweiten Wärmeerzeuger zur Abdeckung von Spitzenlasten.

5.3.7 EWS mit Wasser, 100m

Eine Beschränkung auf 100m tiefe EWS wird bei Verwendung von Wasser als Wärmeträgermittel zu einer extrem hohen benötigten EWS-Anzahl führen. Diese Variante wird als nicht sinnvoll erachtet und daher nicht weiter behandelt.

6. Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Verbandsgemeinde Gau-Algesheim beabsichtigt, das geplante Neubaugebiet „Im Steinert“ mit einer kalten Nahwärmeversorgung zu erschließen. Die Haushalte sollen über eine Ringleitung an eine Geothermieanlage angebunden werden. Jedes Gebäude verfügt über eine eigene Wärmepumpenanlage.

Zusammenfassung

Anhand von allgemein zugänglichem Kartenmaterial sowie eigener Erhebungen aus vergangenen Projekten im Umfeld von Gau-Algesheim wurden die Untergrundbedingungen am Projektstandort prognostiziert. Demnach ist für die oberen 100m mit dem Antreffen von tertiären Mergelserien zu rechnen. Darunter folgen vermutlich die Sandstein- und Tonserien des Rotliegend.

Die hydrogeologische Bewertung ergab, dass eine geothermische Brunnenanlage aus technischer Sicht nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand realisiert werden kann.

Erdwärmesondenanlagen sind am Projektstandort grundsätzlich genehmigungsfähig. Bei der gegebenen Größenordnung wird ein bergrechtliches Bewilligungsverfahren erforderlich sein. Gem. der Berechtsamkarte gibt es am Projektstandort keine Gewinnungsberechtigungen Dritter, so dass eine Bewilligung voraussichtlich auch erteilt werden kann.

Aus technischer Sicht ist die Errichtung einer Erdwärmesondenanlage ebenfalls möglich, wobei aufgrund der vergleichsweise günstigeren Bedingungen im tieferen Untergrund (ab ca. 100m) aber auch aufgrund des geringeren Anbindeaufwandes, tiefe Erdwärmesonden (200m) die effizientere Variante darstellen.

Mit den abgeschätzten thermischen Untergrundparametern und den aus der Studie der TSB (vom 04.05.2019) entnommenen gebäudeseitigen Bedarfsdaten (428 kW Heizleistung bei 80% Gleichzeitigkeit bzw. 559 MWh/a Heizarbeit) wurden Berechnungen zur Dimensionierung möglicher Erdwärmesondenfeldkonfigurationen durchgeführt. Dabei wurden Sondertiefen von 100m und 200m sowie Linienanordnungen und Clusteranordnungen (Rechteck) berücksichtigt. Für die ersten Berechnungsläufe mit wenigen aber tiefen Erdwärmesonden wurden turbulente Strömungsverhältnisse im Solekreislauf angenommen. Den weiteren Berechnungsläufen liegen größere Erdwärmesondenanzahlen zugrunde. Vermutlich wird deshalb die für eine turbulente Strömung erforderliche hohe Umwälzrate nicht erreicht werden können, so dass ab Berechnungslauf 3 von laminaren Strömungsverhältnissen ausgegangen wurde.

Standardmäßig wird in Erdwärmesonden Sole (mit z.B. 25% Frostschutzmittelanteil) eingesetzt. Als untere Temperaturgrenze kann dann gem. VDI 4640-2 (Gründruck aus 2015) eine minimal Soletemperatur von -5°C zugelassen werden. Diese Temperaturgrenze wurde für die Berechnungsläufe 1 bis 4 angesetzt.

Nach den Auskünften der SGD Süd liegt das Baugebiet in einem vermuteten Rutschgebiet. Erdwärmesonden könnten daher nur dann genehmigt werden, wenn sie mit Trinkwasser (ohne Frostschutzmittel) befüllt sind. Gegenüber den Berechnungen mit Sole als Wärmeträgermittel muss daher die zulässige Mindesttemperatur auf deutlich über 0°C angehoben werden. Die zulässige Minimaltemperatur hängt vom Fabrikat der Wärmepumpen ab, bzw. welche Grenze durch den WP-Hersteller ohne Verfall der Gewährleistung akzeptiert wird. Für die Berechnungsläufe 5 und 6 wurde minimale Rücklauftemperatur (von der WP zu den EWS) von +4°C zugelassen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Berechnungsergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 2: Ergebnisse der EED Berechnungen

Berechnung		Heizleistung	EWS					
Lauf Nr.	Wärmeträger	[kW]	Anordnung	Strömung	Anzahl	Tiefe [m]	Gesamt [m]	
1	Sole	428	Linie	turbulent	25	200	5.000	
		310			22		4.400	
428		Cluster	31		6.200			
3		Linien	428	Cluster	laminar	71	100	7.100
			310			60		6.000
4		428	110			11.000		
5	Wasser	428	Linien	laminar		75	200	15.000
		310				57		11.400
		233				51		10.200
6		Cluster	428	Cluster	105	200		21.000
			310		88			17.600
			233		78			15.600

Erwartungsgemäß stellt die Linienkonfiguration mit tiefen Erdwärmesonden die effektivste Variante dar.

Bei den meisten Berechnungsläufen ist die Heizleistung und nicht die Heizarbeit der begrenzende Faktor, insbesondere bei den Varianten mit Wasser als Wärmeträgermittel lassen sich durch eine Reduzierung der Heizleistung (bei gleich bleibender Heizarbeit) erhebliche Einsparungen in der erforderlichen Erdwärmesondenanzahl erreichen.

Für die weitere Planung sollte durch die TGA-Planung geprüft werden, ob die resultierende Heizleistung verringert werden kann, unter z.B. Verwendung von (größeren) Zwischenspeichern und / oder zur Basislastabdeckung in Kombination mit einem zweiten Wärmeerzeuger zur Abdeckung von Spitzenlasten. Möglicherweise kann auch ein geringerer Gleichzeitigkeitsfaktor angesetzt werden.

Neben den betrachteten Faktoren haben auch der Abstand der Erdwärmesonden untereinander sowie eine eventuelle thermische Untergrundregeneration durch einen Wärmeeintrag aus einer Gebäudekühlung einen Einfluss auf die Anlageneffizienz. Wird der Sondenabstand beispielsweise von 10m auf 15m vergrößert, kann je nach Ausgangskonfiguration eine Einsparung an Sondenmetern in der Größenordnung 10 bis 20% erzielt werden.

Wird eine Gebäudekühlung in der Größenordnung von 50% des gem. Studie TSB abgeschätzten Kältebedarfs von 156 MWh/a berücksichtigt, kann eine weitere Reduzierung der Sondenanzahl in einer Größenordnung von 5 bis 15% erwartet werden.

Einige Varianten setzen voraus, dass die Erdwärmesonden in Linie unter den öffentlichen Straßen platziert werden. Hierbei wird eine z.T. sehr große Anzahl von Anbinde-rohren (2 x da50 je EWS bei 200m Tiefe bzw. 2 x da40 je EWS bei 100 Tiefe) zu verlegen sein. Im Rahmen dieser Studie wurde nicht geprüft, ob dies aus statischer Sicht tatsächlich umsetzbar ist. Falls die Planung in diese Richtung weiter verfolgt werden soll, muss durch den Rohrleitungsbau in Abstimmung mit dem Straßenbau und dem Baugrundgeologen eine entsprechende Prüfung erfolgen.

Die Varianten mit reinem Wasser als Wärmeträgermedium werden aufgrund der höheren Wärmequellentemperatur mit einer höheren Arbeitszahl agieren können. Die damit verbundene Ersparnis in den Verbrauchskosten wird jedoch die sehr viel höheren Investitionskosten nicht annähernd ausgleichen können, so dass ein Betrieb mit Sole dem Betrieb mit Wasser vorzuziehen ist. Für den nächsten Schritt sollten daher Gespräche mit den zu beteiligenden Genehmigungsbehörden (Bergbehörde, SGD Süd, Geologischer Landesdienst) unter Einbeziehung des Baugrundgeologen zur Abklärung geführt werden, ob am Projektstandort tatsächlich mit Rutschungen zu rechnen ist und ob dies zwingend zu der Auflage nach dem Betrieb mit reinem Wasser führen muss.

Wir weisen darauf hin, dass die angesetzten Untergrundparameter und die prognostizierte lithologische Folge auf Schätzungen beruhen. Vor Weiterführung der Planung sollten 2 Probebohrungen bis 200m Tiefe ausgeführt werden, um die tatsächliche Schichtenfolge sowie die Bohrbarkeit und Standfestigkeit des Gebirges festzustellen. Die Bohrungen sind zu Testerdwärmesonden auszubauen. An diesen sind zur Verifizierung der thermischen Untergrundparameter Geothermal-Response-Tests durchzuführen. Mit den aktuellen bauseitigen Bedarfsdaten und nach Festlegung der für Sondenbohrungen zur Verfügung stehenden Fläche sind entsprechende Neuberechnungen des Erdwärmesondenfeldes durchzuführen.

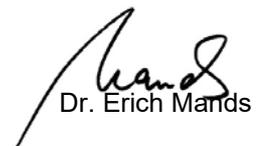
Diese Stellungnahme gilt nur in Ihrer Gesamtheit.

UBeG GbR

Wetzlar, 14.06.2019


Dipl.-Geol. Marc Sauer




Dr. Erich Mands



7. Anhang: Informationen zur EED-Sondenfeldauslegung

7.1 Allgemeines zu EED, Eingesetzte Software

EED-Software

Für die Berechnung der erforderlichen Erdwärmesondenfeldkonfiguration wurde das Programm „Earth Energy Designer“ (EED) eingesetzt. Damit lassen sich die zu erwartenden Temperaturverläufe im Wärmeträgermedium berechnen und die Erdwärmesondenanzahl, -anordnung und -tiefe so wählen, dass ein gewünschter Temperaturverlauf erreicht bzw. vorgegebene Minima oder Maxima eingehalten werden.

Mit der EED-Berechnung kann zum einen geprüft werden, ob eine bereits gewählte Erdwärmesondentiefe, -anzahl und -anordnung für die vorgefundenen Untergrundbedingungen ausreichend ist bzw. welche Temperaturen des Wärmeträgermediums sich im Betrieb ergeben werden, zum anderen kann für vorgegebene Temperaturgrenzen des Wärmeträgerfluids die passende Auslegung angegeben werden.

Die Berechnungen erfolgen iterativ, bis für die jeweilige Anforderung eine möglichst optimale Konfiguration gefunden wurde.

Es ist anzumerken, dass die Nachhaltigkeit der ausgelegten Anlage von deren späterer Betriebsweise abhängig ist. Wird die Anlage signifikant anders betrieben als es für die Berechnungen angenommen wurde, so werden sich auch die Temperaturverläufe des Wärmeträgerfluids anders (jedoch nicht unbedingt in jedem Fall ungünstiger) entwickeln.

Bei den in den dargestellten Graphiken der Temperaturverläufe ist folgendes zu beachten: Die Temperaturen beziehen sich auf die Mitteltemperatur des Wärmeträgerfluids, d.h. bei einer Spreizung von 5 K sind die Eintrittstemperaturen in die Wärmepumpe im Heizfall ca. 2,5°C höher als in den Graphiken abzulesen.

7.2 Wichtige Eingangsparameter für die EED-Auslegung und deren Einflüsse

Nachfolgend werden einige wichtige Eingangsparameter für die Berechnung und deren Einflüsse erläutert:

wichtige EED-Eingangsparameter

- Sondenlänge

Mit der Tiefe nimmt die Erdreichtemperatur durchschnittlich um ca. 3K/100m zu. Eine größere Sondentiefe wirkt sich daher für den Heizfall positiv aus. In Deutschland sind Sondentiefen von 80 bis 120m üblich. Kürzere oder längere Sonden werden ebenfalls ausgeführt, wobei zu beachten ist, dass bei sehr kurzen Sonden (wenige 10er Meter) nicht nur der Flächenbedarf signifikant steigt, sondern auch der Einfluss der Jahreszeiten auf das Temperaturniveau der Sole zunimmt.

Für Bohrungen die tiefer als 200m reichen sind in der Regel größere Bohrgeräte mit einer hohen Hakenlast erforderlich, so dass die Kosten für tiefere Bohrungen exponentiell ansteigen.

- Untergrundwärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes ist erdseitig die wichtigste Einflussgröße zur Bemessung eines Sondenfeldes. Eine höhere Wärmeleitfähigkeit wirkt sich immer positiv aus, die Wärmeenergie wird schneller zur Sonde hin (Wärmeentzug) oder von ihr weg (Wärmeeintrag) transportiert; auch die natürliche Temperaturregeneration im Untergrund erfolgt bei höherer Wärmeleitfähigkeit schneller.

- Thermischer Bohrlochwiderstand

Der thermische Bohrlochwiderstand (R_b) gibt, ähnlich einem Wärmeübertragungsverlust, den Temperaturverlust beim Übergang von Wärme aus dem Gebirge auf das Wärmeträgermedium (Sole) oder umgekehrt an. Der thermische Bohrlochwiderstand beinhaltet Einflüsse u. a. folgender Faktoren:

	verringert R_b	vergrößert R_b
Bohrlochdurchmesser	klein	groß
Sondentyp	doppel-U	einfach-U
Wärmeleitfähigkeit der Bohrlochverfüllung	hoch	gering

Ein geringer Bohrlochwiderstand wirkt sich immer positiv aus.

Das Material der Sonde selbst wirkt sich nur gering auf den thermischen Bohrlochwiderstands aus. Durch den Einsatz von thermisch verbessertem Verfüllmaterial kann bei sonst gleich bleibender Bohrlochkonfiguration im Heizfall mit 1,0 bis 1,5 K höheren Temperaturen gerechnet werden.

- Abstand der Sonden zueinander

Maßgebend für die Leistungsfähigkeit einer Erdwärmesondenanlage ist nicht in erster Linie die Anzahl der Erdwärmesonden, sondern das damit erschlossene Bodenvolumen. Je größer das erschlossene Bodenvolumen ist, umso mehr Energie kann dem Untergrund entzogen werden. Für den reinen Heizfall bringt eine Vergrößerung der Sondenabstände immer eine Verbesserung mit sich. Dabei ist jedoch zu beachten, dass dadurch die Anbindeleitungen länger und damit teurer werden.

Bei Anlagen, die zum Heizen und Kühlen genutzt werden, ist es möglich, dass aufgrund des Speichereffektes eine Vergrößerung der Sondenabstände keinen signifikanten positiven Einfluss hat; hier gibt es meist einen Abstand, der das technisch-wirtschaftliche Optimum darstellt und der durch iterative Berechnung gefunden werden kann.

- Speichereffekt

Die größte Effizienz wird i. d. R. mit Erdwärmesondenanlagen erreicht, die zur Gebäudebeheizung und -kühlung genutzt werden. Die Abwärme aus der Gebäudekühlung wird (zum Teil) im Untergrund gespeichert und steht für die Gebäudebeheizung im Winter zur Verfügung und umgekehrt.

Die Berücksichtigung des Speichereffektes kann zu einer erheblichen Reduzierung der benötigten Tiefe und/oder Anzahl der Erdwärmesonden führen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Anlage auch entsprechend der Planung betrieben werden muss. Wird z.B. über mehrere Sommerperioden entgegen der Planung nicht gekühlt und damit keine Wärme über die Erdwärmesonden in den Untergrund eingetragen, fehlt u. U. ein Teil der Wärmeenergie für die Heizung im Winter. Umgekehrt kann die Gebäudekühlung im Sommer möglicherweise nicht mit der vollen Leistung betrieben werden, falls im Winter der Untergrund nicht ausreichend abgekühlt wird. Klimatisch bedingte Lastschwankungen im Verlauf einiger Jahre (warme/kalte Winter, heiße/kühle Sommer) sind i. d. R. unproblematisch, wenn sich im längerfristigen Verlauf ein Mittelwert einstellt, der nahe an den Werten der Planung liegt.

- Sondenfeldgeometrie

Eine weit auseinander gezogene Anordnung der Sonden in z.B. einer Linie wirkt sich auf den einseitigen Heizbetrieb positiv aus, während die Anordnung in einem eher engständigen Cluster (z.B. Rechteck) für den kombinierten Betrieb (Heizen und Kühlen) günstiger ist.

- Grundwassereinfluss

Ist im Untergrund fließendes Grundwasser vorhanden, wirkt sich dies i. d. R. positiv auf den Anlagenbetrieb aus. Durch die Fließbewegung wird die thermische Regeneration des Untergrundes unterstützt. Die Größenordnung des Effektes wird jedoch häufig überschätzt und ist meist nicht quantifizierbar, da oft die Mächtigkeit des beeinflussten Bereiches und die Fließgeschwindigkeit und -richtung des Grundwassers nicht bekannt sind. Weiterhin setzt die Berücksichtigung des positiven Effektes voraus, dass die hydraulischen Bedingungen ganzjährig in etwa konstant sind.

Damit alle Sonden eines Feldes von einem Grundwasserfluss profitieren können, muss die Achse der Sondenreihe senkrecht zur Fließrichtung des Grundwassers orientiert sein. Die Sonden einer zweiten Reihe müssen dann alternierend zur ersten Reihe angeordnet sein. Der positive Effekt auf eine dritte Reihe ist dann meist vernachlässigbar klein.

Umgekehrt kann fließendes Grundwasser den positiven Einfluss eines Speichereffektes (bei entsprechend ausgelegten Anlagen) durch das unerwünschte Ab- oder Zuführen von Wärme verringern.

- Anlagenlaufzeiten

Ein häufig nicht ausreichend berücksichtigter Faktor ist die jährliche Anlagenlaufzeit. Da bei konduktiven Systemen (Erdwärmesonden) der Wärmetransport im Untergrund grundsätzlich langsamer erfolgt als der Entzug oder Eintrag der Wärme über die Sonde, sinken die Temperaturen bei Wärmeentzug stetig ab bzw. steigen sie bei Wärmeeintrag stetig an. Dieser Effekt ist bei nur in einer Richtung (z.B. Heizen) betriebenen Anlagen besonders groß. Die Anlagenauslegung wird dann so gewählt, dass bei einer bestimmten Anlagenlaufzeit über die betrachtete Periode die Temperaturen die zuvor nach ökologischen und technischen Gesichtspunkten festgelegten Grenzen nicht unter- bzw. überschreiten. Deutliche Abweichungen der tatsächlichen von den geplanten Laufzeiten können daher zu einer Unter- oder Überschreitung der Temperaturgrenzen führen. Klimatisch bedingte Schwankungen der Laufzeiten im Verlauf einiger Jahre (warme/kalte Winter, heiße/kühle Sommer) sind i. d. R. unproblematisch, wenn sich im längerfristigen Verlauf ein Mittelwert einstellt, der nahe an den Werten der Planung liegt.