

# BASPO Magglingen Erdwärmennutzung Phase1

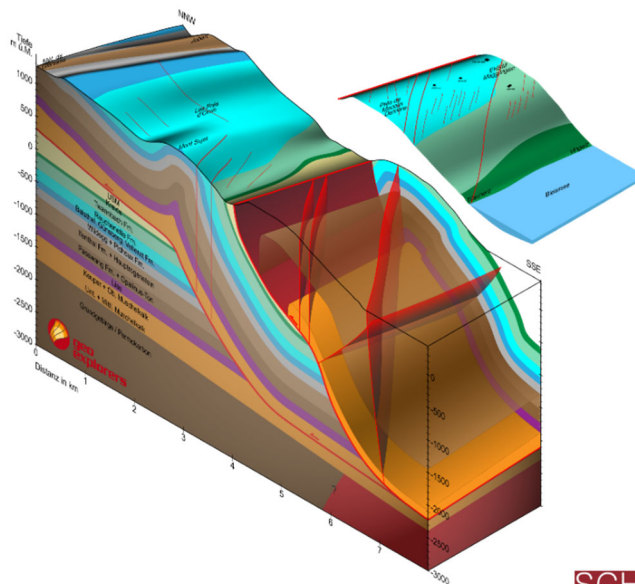
# Machbarkeitsstudie

- **Geothermisches Potential und Explorationskonzept**
- **Anlagebau und energetische Nutzung**
- **Chancen und Risiken**

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Bauten und Logistik BBL  
Fellerstrasse 21  
3003 Bern

Vertreten durch: Barbara Suter  
Antonin Vouillamoz

**Autoren:**

Dr. Andreas Ebert  
Geo Explorers AG  
Wasserturmplatz 1, 4410 Liestal  
Tel. 061 821 60 40  
[www.geo-ex.ch](http://www.geo-ex.ch)  
[info@geo-ex.ch](mailto:info@geo-ex.ch)

Karl-Heinz Schädle  
Schädle GmbH  
Steinenschanze 2  
061 421 00 46  
[www.schaedle-gmbh.ch](http://www.schaedle-gmbh.ch)  
[info@schaedle-gmbh.ch](mailto:info@schaedle-gmbh.ch)



Basel, Liestal, 30. April 2019

Projekt	BASPO Magglingen Erdwärmenutzung
Unterprojekt	Phase 1 * Geothermisches Potential und Explorationskonzept * Anlagebau und energetische Nutzung * Chancen und Risiken
Objekt / Standort	Magglingen
Auftraggeber Adresse	Bundesamt für Bauten und Logistik BBL Fellerstrasse 21 3003 Bern
Projekt- / Auftragsnummer	TN10/4266.079
Ausführende Büros	Geo Explorers AG Schädle GmbH
Projektleitung	Dr. Andreas Ebert / Karl-Heinz Schädle
Qualitätssicherung	Christian Häring / Tobias Frei
Dateiname / Version	190430_Erdwärme_Studie_Magglingen
Datum Bericht	30.04.2019 19:15
Beilagen	1. Präsentation      Geo Explorer 12.12.18 2. Präsentation      Geo Explorer 19.01.19 3. Verfahrensfließbild Variante Redundanz zentral 4. Verfahrensfließbild Variante Redundanz dezentral 5. Grundriss Erdwärme-Zentrale 6. Dossier zum Projekt "Biomassen-Zentrale" 7. Übersichtsplan Fernwärmenetz 8. Aufstellungsplan mobile Pelletheizung 9. Gesamtterminplan 10. Baukostenschätzung

## Summary

Die Immobilien auf dem Areal des Bundesamtes für Sport (BASPO) in Magglingen sollen zukünftig mit Nahwärme versorgt werden. Dazu wird ein Wärmenetz aufgebaut, welches die einzelnen Liegenschaften mit Energie für die Heizung und Warmwassererzeugung versorgt. Als Wärmequelle dient eine Erdwärme-Energiezentrale. In dieser Zentrale wird aus einer Tiefenbohrung warmes Wasser entnommen, die Energie mittels eines Wärmetauschers an das Verteilnetz abgegeben und abgekühlt wieder in den Untergrund verpresst.

In der jetzigen Projektphase (Phase1) werden vorbereitende Untersuchungen und Analysen durchgeführt, um für die vorgesehene Erdwärmenutzung das Potential abzuschätzen, die Kosten und Realisierbarkeit genauer zu ermitteln, aber auch mögliche Abbruchkriterien für das Erdwärmeprojekt zu definieren. Ausserdem wird das technische Konzept für die Erdwärmenutzung ausgearbeitet.

Basierend auf Projektbeispielen am Jura-Südfuss mit ähnlicher Geologie und nachgewiesenen thermalen Wasserzutritten ist der Untergrund unter Magglingen ebenfalls für eine geothermische Nutzung günstig aufgebaut. Die notwendigen hydrogeologischen Voraussetzungen sind gegeben. Mehrere grundwasserführende Schichten, sowie, mehrere Bruchzonen sind vorhanden. Entlang der Bruchzonen ist ein Wasserfluss von einigen 100 l/min zu erwarten. Auf Grund der Tiefenlage der Zielhorizonte sind Temperaturen des Thermalwassers von  $>40^{\circ}\text{C}$  zu erwarten. Eine nutzbare thermische Leistung bei angemessenen Erfolgsaussichten wird auf 2-4 MW abgeschätzt.

Es kommen mehrere potentielle grundwasserführende Schichten in unterschiedlichen Tiefen und mit unterschiedlichen Erfolgchancen in Frage. Mit einer Bohrung können mehrere potentiell wasserführende Horizonte und Bruchzonen durchbohrt werden, was die Fündigkeitschancen erhöht.

Das grösste Potential wird im Kreuzungsbereich der Überschiebungsbahn mit steil stehenden Bruchzonen im Muschelkalk erachtet. In diesen Zonen sind diese Gesteine intensiv deformiert (geklüftet), sodass der im Gestein benötigte Wasserfluss erwartet werden kann.

Dies würde eine Bohrung bis auf ca. 1300 m Tiefe bedingen. Da eine solche Bohrung zielgenau diesen Kreuzungsbereich erreichen müsste, aber diese auf Grund der fehlenden Untergrunddaten derzeit nicht genau lokalisiert werden kann, muss der Untergrund vorweg mit einer 3D-Seismik vermessen werden. Dies ist ein übliches Vorgehen bei der Erkundung, bei der der Untergrund wie mit einem Echolot durchleuchtet wird. Damit lässt sich der geologischen Schichtaufbau hochauflösend abbilden.

Als idealen Standort für die Bohrungen und die Erdwärme-Energiezentrale wurde der Platz vor dem Werkhof ermittelt. Entsprechend wurde für diesen Standort zwei Anlagenlayouts entwickelt. Bei einer Variante ist der fossile Redundanz-Heizkessel dezentral in einem bestehenden Gebäude installiert und die Erdwärmezentrale unterirdisch unter dem Parkplatz aufgebaut, bei der anderen Variante wird eine neue Energiezentrale inklusive Reservekessel oberirdisch an den bestehenden Werkhof angebaut.

Die Wärmeverteilung erfolgt in einem Niedertemperaturnetz. Das bedeutet, dass das warme Tiefenwasser über einen Wärmetauscher die Wärme direkt an das Fernwärmewasser überträgt, welches dann die Heizenergie zu den einzelnen Liegenschaften transportiert. In den neuen

Gebäuden kann das Wasser direkt mit Niedertemperaturheizungen (z.B. Fussbodenheizung) zum Heizen verwendet werden. In älteren, noch nicht sanierten Gebäuden wird, das Fernwärmewasser mittels Wärmepumpen auf das notwendige Temperaturniveau angehoben. Die Aufbereitung des Brauchwarmwassers erfolgt dezentral mittels Wärmepumpen. Bei Ausfall der Erdwärme oder im Revisionsfall wird die Wärme für das Fernwärmenetz durch einen ölbefeuerten Reservekessel erzeugt.

Die in der Studie analysierten Daten ergeben mit hoher Wahrscheinlichkeit ein sehr gut nutzbares Potential für die Erdwärmenutzung. Dies bezüglich der geologischen Situation, der baulichen Machbarkeit am Standort und auch der potentiellen Wärmeabnehmer in den Gebäuden des BASPO.

Bevor das Erdwärmeprojekt gestartet werden kann, sollte neben der Kreditbewilligung vor allem das Projektteam zusammengestellt werden. Das Kernteam umfasst die Projektleitung des BBL, die Bauherrenvertretung, die Gesamtprojektleitung, einen Geologen/Geologin und eine Kommunikationsfachperson. Dieses Team wird dann die weiteren Aufgaben ausschreiben oder auch zusätzliche Fachleute integrieren.

Die wichtigsten nächsten Projektschritte wurden identifiziert:

- Aufgleisung der Finanzierung
- Einholen von Bewilligungen
- Informationskampagne und Gespräche mit Stakeholdern
- Detailplanung der 3D-Seismik durch den Geologen
- Ausschreibung der Seismikleistungen und das Permitting (Einholen von Durchgangsbewilligungen für die Seismik),
- Durchführung der eigentlichen Seismik-Messkampagne
- Processing der Seismik-Daten durch Spezialfirmen
- Interpretation der Daten, Erstellen eines 3-D-Modells und Definition des Bohrziels durch den Geologen.

Für die Durchführung dieser Projektphase (ab Kreditfreigabe) beträgt der Zeitbedarf etwa 1.5 Jahre, abhängig davon, wie schnell Bewilligungen ausgestellt werden und wie verfügbar die wenigen in Frage kommenden Seismikfirmen sind. Erst danach kann eine Bohrung geplant werden. Für die Seismikkampagne muss mit Kosten von ca. 1.2-1.8 Mio. CHF gerechnet werden, abhängig vom genauen Messprogramm und Verfügbarkeit von Seismikfirmen. Es wird angestrebt, dass die Gesamtkosten für die Erdwärme-Bohrungen bis spätestens Oktober 2021 für die Immobilienbotschaft 2022 vorliegen.



# Inhaltsverzeichnis

<b>SUMMARY</b>	<b>III</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1 AUSGANGSLAGE, AUFTRAG	1
1.2 PROJEKTZIELE	1
1.3 GEOLOGISCHE FRAGESTELLUNG	1
1.4 ENERGIETECHNISCHE FRAGESTELLUNG	1
<b>2 STANDORT</b>	<b>3</b>
2.1 GEOLOGISCHES UNTERSUCHUNGSGEBIET	3
2.2 ANFORDERUNGEN AN DEN BOHRSTANDORT	3
<b>3 GEOLOGISCHER AUFBAU UNTERGRUND</b>	<b>5</b>
<b>4 GEOTHERMISCHES POTENTIAL</b>	<b>9</b>
4.1 HERLEITUNG GEOTHERMISCHES POTENTIAL	9
4.2 BEISPIELE AM JURA-SÜDFUSS:	9
4.3 HYDROGEOLOGIE, FLIESSWEGE, TEMPERATUREN UND ZIELHORIZONTE	11
4.4 POTENTIAL, CHANCEN UND RISIKEN	13
<b>5 EXPLORATIONSKONZEPT</b>	<b>17</b>
5.1 VORGEHEN	17
5.2 SEISMISCHE ERKUNDUNG IN MAGGLINGEN	20
<b>6 ERDWÄRMEBOHRUNGEN</b>	<b>24</b>
6.1 TECHNISCHE VORGABEN ZUR BOHRUNG	24
6.2 BOHRTECHNISCHES KONZEPT	24
6.2.1 <i>Allgemeine technische Grundsätze</i>	24
6.2.2 <i>Anforderungen an die Bohrlochkonstruktion:</i>	25
6.3 AUFSCHLUSS UND KOMPLETTIERUNG DER BOHRUNGEN	25
6.3.1 <i>Bohrtechnik</i>	25
6.3.2 <i>Allgemeine Anforderungen Bohrung</i>	27
6.4 BOHRABLAUF	27
6.4.1 <i>Ablauf der Bohrungen</i>	27
6.4.2 <i>Bohrlochabschluss</i>	28
6.4.3 <i>Pumpversuch</i>	28
6.4.4 <i>Zirkulationstest</i>	28
6.5 BOHRPLATZBAU	29
6.6 VORHANDENES GELÄNDE	29
6.6.1 <i>Verkehrstechnische Anbindung</i>	30
6.6.2 <i>Angaben zum Bohrplatzbau</i>	30
6.6.3 <i>Verkehrs- und Lagerflächen</i>	30
6.6.4 <i>Flächenbedarf für den Bohrplatz</i>	30
6.6.5 <i>Bohrkeller</i>	30
6.6.6 <i>Konzeption des Bohrplatzes</i>	31
<b>7 AUFBAU DER ERDWÄRMEZENTRALE MAGGLINGEN</b>	<b>33</b>
7.1 TIEFENWASSER	33

7.2	TECHNISCHE INSTALLATIONEN PRIMÄRKREIS	33
7.3	TECHNISCHE EINBINDUNG IN DAS NAHWÄRMENETZ	37
7.4	STANDORT UND EINBINDUNG IN DAS FERNWÄRMENETZ	38
7.5	PLATZBEDARF ERDWÄRME-ENERGIEZENTRALE MAGGLINGEN	38
7.6	MÖGLICHE RISIKEN MIT SCALING UND NATÜRLICHER RADIOAKTIVITÄT	42
<b>8</b>	<b>PLAN B WIE BIOMASSE-ENERGIEZENTRALE</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>FERNWÄRMENETZBAU</b>	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>KUNDENANLAGEN</b>	<b>49</b>
10.1	BESTEHENDE GEBÄUDE	49
10.2	NEUBAUTEN	49
<b>11</b>	<b>PROVISORISCHER BETRIEB</b>	<b>51</b>
<b>12</b>	<b>BEWILLIGUNGEN</b>	<b>54</b>
12.1	ALLGEMEINES	54
12.2	SCHÜRFBEWILLIGUNG	54
12.3	ERSCHLIESSUNGSBEWILLIGUNG	54
12.4	KONZESSION	55
<b>13</b>	<b>KOSTEN</b>	<b>56</b>
13.1	KOSTEN SEISMIK	56
13.2	BOHRUNGEN	56
13.3	KOSTEN ERDWÄRME-ENERGIEZENTRALE	57
13.4	TOTAL INVESTITIONSKOSTEN ERDWÄRME MAGGLINGEN	58
13.5	KOSTEN KUNDENANLAGEN	58
<b>14</b>	<b>ZEIT- UND PROJEKTPLAN</b>	<b>59</b>
<b>15</b>	<b>EMPFEHLUNGEN UND WEITERES VORGEHEN</b>	<b>60</b>
15.1	PROJEKTSTART	60
15.2	BESCHAFFUNG DER SPEZIALISTEN	60
15.3	PROSPEKTION, SEISMIK	61
15.4	BOHRUNGEN 1 & 2	61
15.5	BAU UND ANLAGEBAU	62
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>63</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>65</b>

# **1 Einleitung**

## **1.1 Ausgangslage, Auftrag**

In Magglingen werden die Heizsysteme im Gebäudepark der vom BASPO genutzten Immobilien angepasst und erneuert. Die bisherigen Einzelheizungen werden dabei durch ein Nahwärmesystem mit einer Energiezentrale ersetzt, welches die Energie aus einem Erdwärmekreis bezieht. Als alternatives System, falls sich die Erdwärme als nicht realisierbar erweist, wird am selben Standort eine Biomasse-Zentrale gebaut.

In der jetzigen Projektphase werden vorbereitende Untersuchungen und Analysen durchgeführt, um für die vorgesehene Erdwärmenutzung das Potential abzuschätzen die Kosten und Realisierbarkeit genauer zu ermitteln, aber auch mögliche Abbruchkriterien für das Erdwärmeprojekt zu definieren. Dafür wurden alle geologisch verfügbaren Daten zusammengetragen und ein Untergrundmodell erstellt. Nur wenn als erstes die Geologie im Detail verstanden ist, kann das geothermische Potential bewertet und entsprechende sinnvolle Explorationsziele definiert werden. Ausserdem soll das technische Nutzungskonzept für die Erdwärmenutzung ausgearbeitet werden.

## **1.2 Projektziele**

Als Projektziele für die Phase 1 sind identifiziert:

- Ermittlung des geologischen Potentials
- Ermittlung möglicher geologischer Nutzungskonzepte
- Erstellen eines Explorationskonzepts
- Definition der Anforderungen an den Bohrstandort
- Bewertung der Chancen und Risiken bei Exploration und Betrieb der Erdwärmanlage
- Ausarbeitung eines anlagetechnischen Nutzungskonzeptes
- Groblayout der Energiezentrale (Standortunabhängig)
- Kostenschätzung für die Gesamtkosten
- Beurteilung und Bewertung der Varianten

## **1.3 Geologische Fragestellung**

Folgende Fragestellungen standen bei der geologischen Bearbeitung im Fokus:

- Wie ist der Untergrund geologisch aufgebaut? Dabei steht der Fokus auf wasserführende Bruchzonen und Schichten.
- Wie kann das geothermische Potential unter Magglingen bewertet werden? Dabei steht der Fokus u.a. auf mögliche Felsgrundwasser-Fliesswege, Untergrundtemperaturen, Gesteins-Durchlässigkeiten und Tiefenlagen der Felsgrundwässer.
- Definition und Bewertung von potentiellen Zielhorizonten.
- Ableitung eines Explorationskonzeptes.

## **1.4 Energietechnische Fragestellung**

Folgende Fragestellungen standen beim Energiekonzept im Fokus

- Wie kann die heute unbekannte Wärmequelle (unbekanntes Temperaturniveau und Fließrate des Tiefenwassers) in die heute bestehenden Gebäudeheizungen integriert werden?
- Wie kann ein Verteilnetz unabhängig von der Wärmequelle (Erdwärme oder Holz) vorgängig aufgebaut werden?
- Wie kann die Energiezentrale in den Gebäudepark und die Bedürfnisse des BASPOs integriert werden?

## 2 Standort

### 2.1 Geologisches Untersuchungsgebiet

Die Evaluation des geologischen Aufbaus und des geothermischen Potentials unter Magglingen betrifft die in Abbildung 1 rot eingefärbte Fläche westlich von Biel.

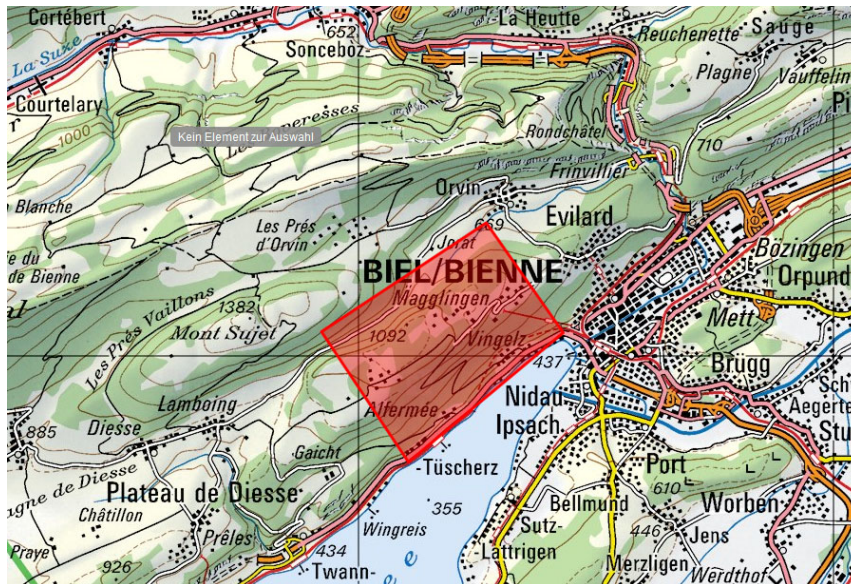


Abbildung 1: Standortgebiet

### 2.2 Anforderungen an den Bohrstandort

Die Anforderungen an den Standort betreffen temporäre Einrichtungen wie z.B. die gesamte Bohranlage inklusive Nebenanlagen und bleibende Einrichtungen wie z.B. den Bohrkeller, die Wärmezentrale sowie den Service- und Reparaturplatz.

Prinzipiell sollte der Bohrstandort möglichst nahe am geologischen Bohrziel liegen. Ausserdem ist es sinnvoll, dass die Energiezentrale am oder auf dem Bohrplatz errichtet wird – zumindest jedoch in unmittelbarer Nähe des Bohrplatzes. Die Anbindung der Energiezentrale an das Nahwärmenetz ist technisch auch über grössere Distanzen möglich, was jedoch mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Zusätzlich zu diesen übergeordneten Anforderungen an den Bohrstandort wurden noch weitere Rahmenbedingungen identifiziert. Die Anforderungen sind für die einzelnen Punkte stichwortartig skizziert:

- **Nähe zum Bohrziel**
  - Es ist bisher noch kein Bohrziel definiert, da noch keine seismische Untersuchung durchgeführt wurde
  - Aufgrund der geologischen Strukturen werden potentielle Bohrziele in Südwestlicher Richtung (Richtung Bielersee) erwartet.
- **Baugrund**
  - Bodenaufbau  
(gewachsener Boden, Fels, aufgeschüttetes Material, belastetes Material,...)
  - ebenes Gelände / Gelände-«Sprünge»
- **Grundwasser**
  - Gibt es Grundwasser-Schutzzonen?

- Gibt es Trinkwasser-Fassungen?
- **Zufahrtsmöglichkeit**
  - Zufahrtsmöglichkeit für Schwerst-Transporte (Auf- und Abbau der Bohranlage)
  - Zufahrtsmöglichkeiten für Schwertransporte im Bohrbetrieb
- **Lärm**
  - welche Lärmempfindlichkeitsstufe liegt am Bohrplatz vor?
  - Gibt es im Umkreis < 300m «lärmempfindliche» Liegenschaften/Nutzungen?
- **Baudenkmäler/Heimatschutz**
  - Gibt es Bodendenkmäler am potentiellen Standort?  
(Archäologie, Urzeitfunde, ...)
  - Gibt es Natur- und Heimatschutzobjekte am potentiellen Standort?
- **Naturgefahren**
  - Gibt es «gefährdete» Zonen am potentiellen Standort?  
(Hochwasser, Erdbeben, ...)
- **Versorgungsnetze / Infrastruktur**
  - Hier ist auf die Nähe zum Nahwärmenetz und die Anbindung an die öffentliche Infrastruktur zu achten.
  - Dies betrifft die Versorgung (Strom, Wasser, ...) aber auch Entsorgung (Abwasser, Abtransport von belastetem Material, ...)

Die Grösse des Bohrplatzes wird hauptsächlich durch die Bohrtiefe sowie dem Aufbau der Bohrung bestimmt. Mit diesen beiden Parametern kann das Gewicht, das zum Einbau des Casings<sup>1</sup> bzw. der Liner<sup>2</sup> benötigt wird, ermittelt werden. Anhand des Gewichtes («Hakenlast») wird nun die notwendige Leistung der Bohrmaschine bestimmt. Gemäss heutigem Wissenstand wird mit einer Bohrtiefe zwischen 1200 und maximal 1800 Metern gerechnet. Der notwendige Bohrplatz für so eine Bohrung benötigt eine Aufstellungsfläche von etwa 1800 bis 2000 m<sup>2</sup>. Im Kapitel 6.5 sind weitere Details und ein Groblayout des Bohrplatzes dargestellt.

---

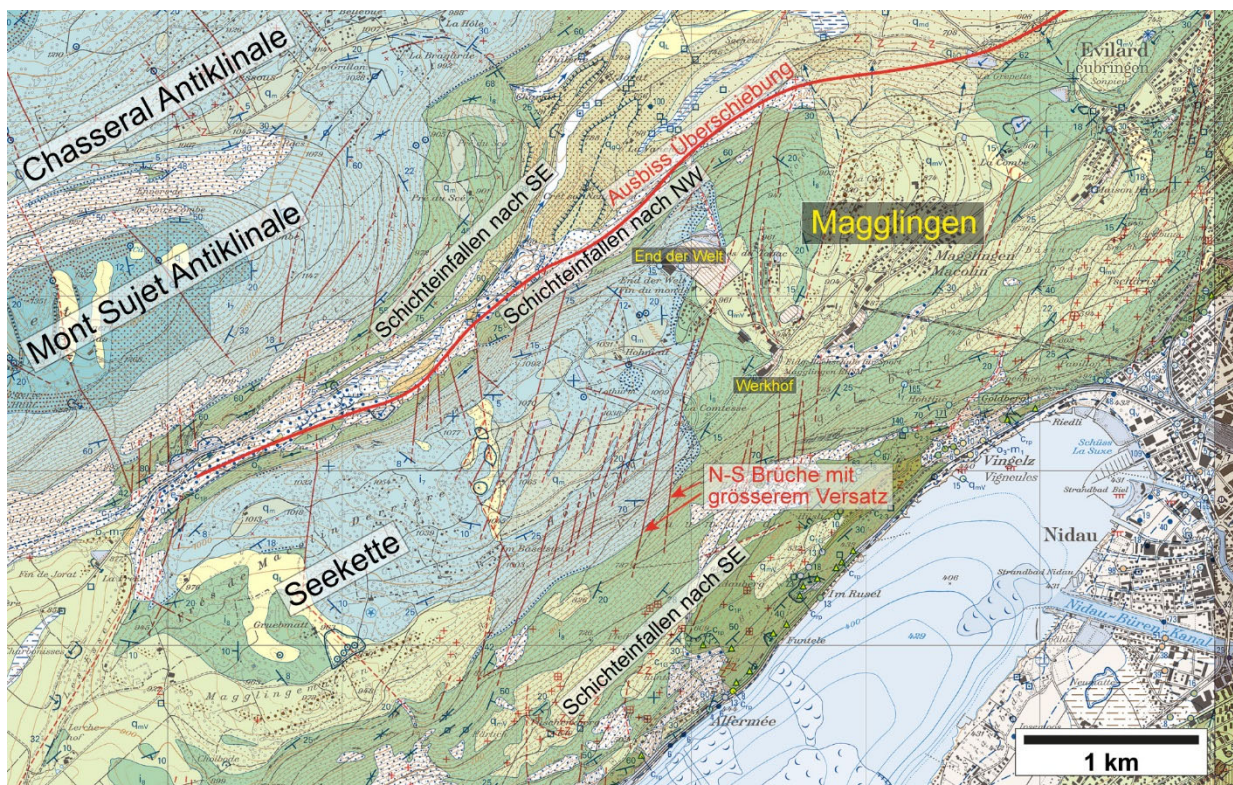
<sup>1</sup> Als Rohrtour (auch Futterrohre oder Verrohrung, engl.: casing, genannt) wird die Rohrstrecke bezeichnet, mit der das Bohrloch spezieller geologischer Bohrungen ausgekleidet wird. Aufgabe der Rohrtour ist es, das Bohrloch langfristig zu stabilisieren und gegenüber dem Umgebungsgestein (Gebirge) abzudichten. Quelle: Wikipedia.de

<sup>2</sup> Stahlverrohrung des Bohrlochs, die an der vorangehenden Casing-Rohrtour befestigt wird. Der Liner wird im Gegensatz zum Casing nicht über die gesamte Tiefe des Bohrlochs ausgeführt, sondern deckt nur gewisse Abschnitte z.B. zur Bohrlochsicherung ab.



### 3 Geologischer Aufbau Untergrund

Der Projektstandort Magglingen liegt im Faltenjura, bzw. auf der südlichsten Jura-Antiklinale der Seekette (Antiklinale = Falte bzw. Sattelstruktur). Auf Basis der geologischen Karte (Abbildung 2), wurden Querprofile konstruiert und der Aufbau des Untergrundes definiert. Grundlage dazu bilden Messdaten, kartierte Bruchstrukturen mit Einfallrichtung der verschiedenen Schichten und Publikationen wie z.B. Laubscher (2008). Aus diesen Daten wurde ein vereinfachtes 3D Blockbild vom Untergrund erstellt (Abbildung 4). Dieses ist Voraussetzung für die Definition des geothermischen Potentials und möglichen Zielhorizonten für die Erschliessung von Warmwasser mit Hilfe von Bohrungen.



**Abbildung 2: Geologische Karte**

**Blau- und Grüntöne = Malm-Kalke, Dunkelgrüntöne = Kreide-Kalke, Gelbliche und hellgrüne Töne = auflagerndes Lockergestein, Rote Linien = Brüche, kleine blaue T mit Zahl = Fallzeichen der Schichten mit Einfallswinkel**

Das 3D-Modell zeigt wie die Schichten von Süden her während der Jurafaltung vor ca. 11 – 4 Mio. Jahren übereinander geschoben und verfaltet wurden. Magglingen liegt auf einer solchen Falte, die um einige Kilometer entlang einer Überschiebungsbahn (rote gebogene Fläche auf Abbildung 4) nach Norden über die unterlagernden Schichten geschoben wurde. Dabei wurden entlang der Überschiebungsbahn die kompetenten (= spröde reagierenden) Gesteine (z.B. Muschelkalk-Dolomite und Malm-Kalke) zerbrochen und geklüftet. Dadurch wurde ein dichtes Netzwerk von durchlässigen Trennflächen generiert.

Wie auf der geologischen Karte ersichtlich, entstanden zusätzlich diskrete Nord-Süd verlaufende, steil stehende Brüche (gerade rote Linien auf Abbildung 2), welche z.T. einen deutlichen Versatz (= Verschiebung entlang Bruch) zeigen. Von der Therme Bad-Schinznach



ist bekannt, dass im Kreuzungsbereich von Überschiebungsbahn und N-S-Brüchen die Gesteine besonders durchlässig sind. Hier wurden deutlich schnellere Fließzeiten und grössere Durchlässigkeiten gemessen.

Gesteine, die nicht spröde reagieren (z.B. Mergel und Tonsteine) und kompetente Gesteine, die nicht durch Deformation beansprucht wurden, können generell als gering durchlässig beurteilt werden. Diese stellen folglich keine Zielhorizonte für die Produktion von Warmwasser dar. Auf Grund der Faltung und dem Übereinanderschoben von Schichtpaketen liegen in der Tiefe potentiell spröde reagierende Gesteinsschichten mehrfach übereinander vor. Zu nennen sind die Malm-Kalke der Twannbach und Reuchenette Formation, die Kalke des Haupttrogensteins und die Kalke und Dolomite des Oberen Muschelkalks. Insbesondere die Muschelkalk-Gesteine liegen auf Grund der Abscherrhorizonte im Mittleren Muschelkalk generell im direkten Kontakt mit der Überschiebungsbahn und sind entsprechend stark deformiert bzw. geklüftet. Verschiedenste Bohrungen und Tunneldurchbrüche zeigen in diesen Zonen / Gesteinen starke Wasserzutritte (Abbildung 5). Als Beispiele können die Therme Bad-Schinznach, Bad Lostorf, der Hauenstein-Basistunnel und der Grenchenberg-Tunnel genannt werden.

Es sei angemerkt, dass der Untergrund am Standort sehr komplex aufgebaut ist und keine tiefen Untergrunddaten aus Bohrungen oder seismischen Erkundungen bestehen. Entsprechend kann die genaue Lage bzw. der Verlauf der Bruchzonen oder Überschiebungsbahnen in der Tiefe nur ungenau lokalisiert werden (Abbildung 5). Da aber punktgenau gebohrt werden muss, muss der Untergrund vorgängig mit Hilfe einer seismischen Erkundung<sup>3</sup> erkundet werden.



**Abbildung 3: Wasserzutritte im Grenchenberg-Tunnel**

**Aus Spalten und Klüften sind z.T. mehrere 10'000 l/min ausgetreten.**

---

<sup>3</sup> Seismik = Durchleuten des Untergrundes mit geophysikalischen Messmethoden ähnlich wie mit einem Echolot

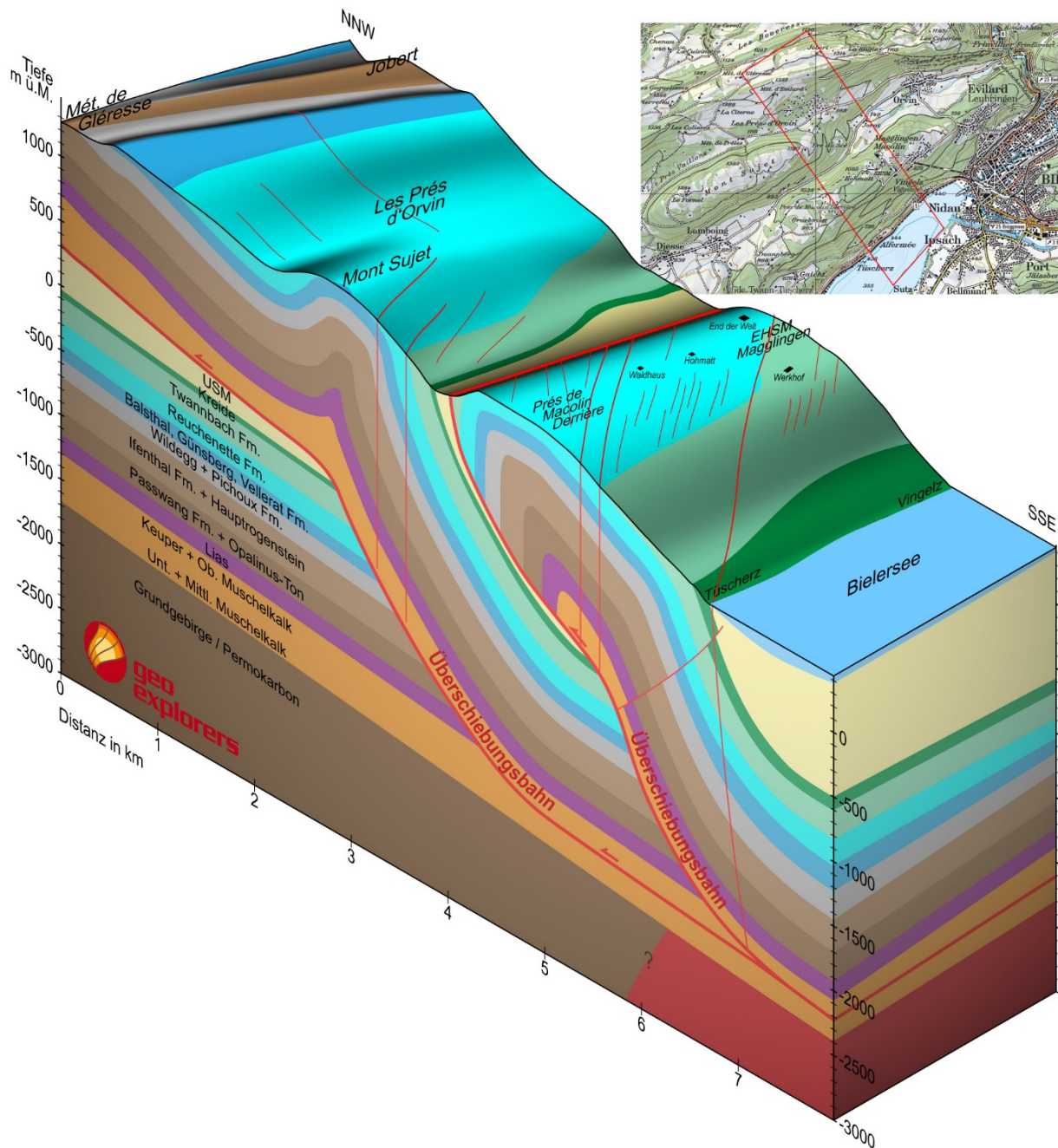
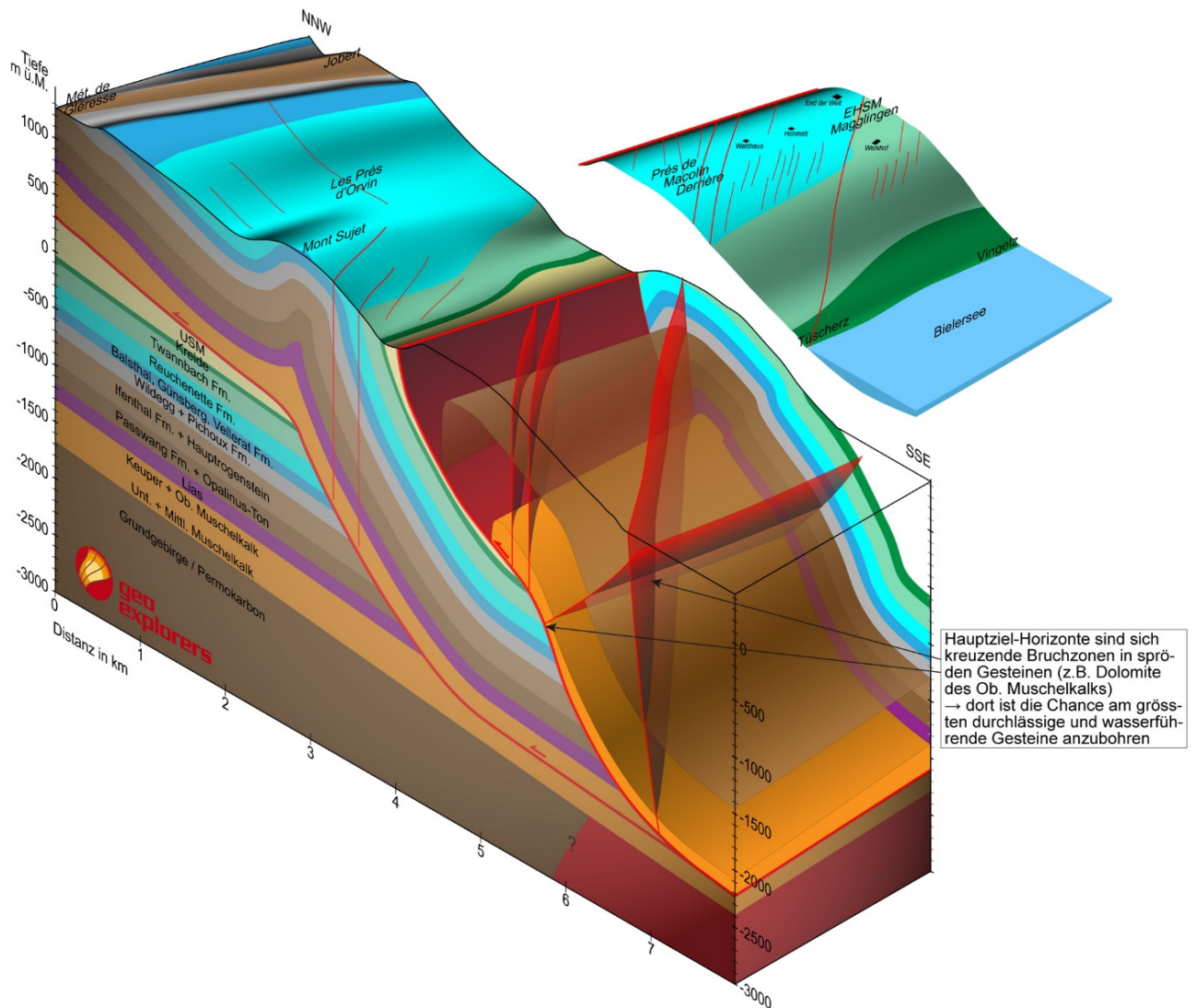


Abbildung 4: 3D-Blockbild vom Untergrund am Projektstandort

Rote Linien entsprechen Bruchstrukturen und die farbigen Horizonte die vorliegenden geologischen Schichten. Die Überschiebungsbahnen sind entsprechend gekennzeichnet. Der Ausschnitt vom Blockbild ist auf dem Kartenausschnitt mit einem roten Rahmen markiert.



**Abbildung 5: Hauptziele der geothermischen Erschliessung**

Dort wo sich die Überschiebungsbahn und vertikalen Bruchzonen (rote Flächen) z.B. im Oberen Muschelkalk (gelb) kreuzen, sind diese Gesteine stark deformiert und folglich geklüftet und damit durchlässig und ergiebig für Warmwasser.



## 4 Geothermisches Potential

### 4.1 Herleitung geothermisches Potential

Das geothermische Potential wird bestimmt durch:

- die **Ergiebigkeit der wasserführenden Zonen**, welche wiederum geprägt sind durch
  - die Durchlässigkeit der Gesteine,
  - die Mächtigkeiten der durchlässigen Zonen,
  - das Vorhandensein von Felsgrundwasser

Ohne durchlässige Zonen gibt es keine Fliesswege, damit ausreichend Wasser zufließen und gefördert werden kann. Liegen keine primär durchlässigen Gesteine wie z.B. Flussschotter oder poröse Sandsteine vor, liegt der Fokus auf Bruchzonen in kompetenten Gesteinen, in welchen z.B. Kalksteine geklüftet, eventuell zusätzlich verkarstet und damit durchlässig sind.

- die **Untergrundtemperatur**, welche wiederum geprägt ist durch
  - den geothermischen Gradienten,
  - den Zufluss warmer Tiefenwässer,
  - den Einfluss durch eindringende kalte Oberflächenwässer.

Es wird eine möglichst hohe Grundwasser-Temperatur angestrebt, welche z.B. durch aufsteigende Tiefenwässer erhöht sein kann.

- dem **Motor für Wasserfluss**, welcher einen dauerhaften Wasserzufluss garantiert und die Richtung der Zuflüsse definiert. Dieser wird bestimmt durch
  - das allgemeine Druckpotential am Projektstandort,
  - das Druckpotential-Gefälle im Aquifer (= Grundwasserleiter),
  - die Infiltration bzw. das Quellgebiet und Zuflussgebiet.

Ohne den Druckspiegel-Gradienten im Grundwasserleiter kann kein Wasser fließen. Das Druckspiegel-Gefälle gibt die Richtung vor, von wo dauerhaft Wasser zufließen kann.

### 4.2 Beispiele am Jura-Südfuss:

Die Herleitung des geothermischen Potentials erfolgt am besten über den Vergleich mit bekannten Systemen in gleicher geologischer und hydrogeologischer Lage. Im vorliegenden Fall kann das Potential mit Hilfe verschiedenster Bohrungen und Tunnelbauten am Jura-Südfuss abgeleitet werden. Die Beispiele wurden in den Präsentationen vom 12.12.2018 und 29.01.2019 (siehe Beilage 1). ausführlich mit Grafiken und Bildern belegt. Es werden deshalb nachfolgend die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst.

Die Beispiele Grenchenberg-Tunnel, Hauenstein-Basistunnel, Bad Lostorf und Therme Bad Schinznach liegen alle in der südlichsten Falte des Jura-Südfusses. Alle zeigen die gleiche geologische Situation mit einer überschobenen Antiklinale wie in Magglingen. Die erbohrten Muschelkalk-Schichten entlang der Überschiebungsbahn sowie Jura-Kalksteine (Hauptrogenstein und Malmkalke) waren wasserführend. Die z.T. starken Wasserzutritte erfolgten im Wesentlichen aus Spalten und Klüften (Bad Schinznach ca. 500 l/min, Bad Lostorf und Hauenstein-Basistunnel mehrere 1000 l/min, Grenchenberg-Tunnel mehrere Quellen mit z.T. 50'000 l/min, siehe Abbildung 3). In Bad Schinznach und Bad Lostorf wurden mehrere

Bohrungen abgeteuft, die jeweils fündig waren. In allen wurden deutlich wärmere Zuflüsse, als wie vom normalen geothermischen Gradienten zu erwarten, angetroffen. Die Temperaturen lagen im Bereich von 16°C im Grenchenberg-Tunnel über 27°C in Bad Lostorf bis 44°C in Bad Schinznach. Auch die subthermalen Wässer aus den Tunneln werden genutzt (Bsp. Wärmeversorgung Rankwog, Trimbach mit 410 kW Wärmepumpe, wobei nur die Hälfte des ausfliessenden Wassers genutzt wird).

Weitere zu nennenden Beispiele sind die neuen fündigen Bohrungen in Eptingen, die Erdölbohrung in Hermrigen und die Thermalwasser-Bohrungen in Yverdon. Die nahe gelegene Bohrung in Hermrigen zeigte im Haupttrogenstein und Muschelkalk Zuflüsse aus geklüftetem Fels. In 2200 m wurden anstatt den üblichen ca. 70°C deutlich wärmere 85°C angetroffen. Diese Wärmeanomalie bestätigt ebenfalls die aufsteigenden Thermalwässer. In Yverdon waren mehrere Bohrungen (599 m Tiefe und 1479 m Tiefe) in einer grossen Bruchzone fündig. Es flossen aus mehreren geklüfteten und verkarsteten Zonen in den Jura-Kalken mehrere 1000 l/min mit Temperaturen von 22-59°C aus. Die tendenziell erhöhten Temperaturen in umliegenden Bohrungen und genannten Beispielen sind auch auf Abbildung 6 ersichtlich.

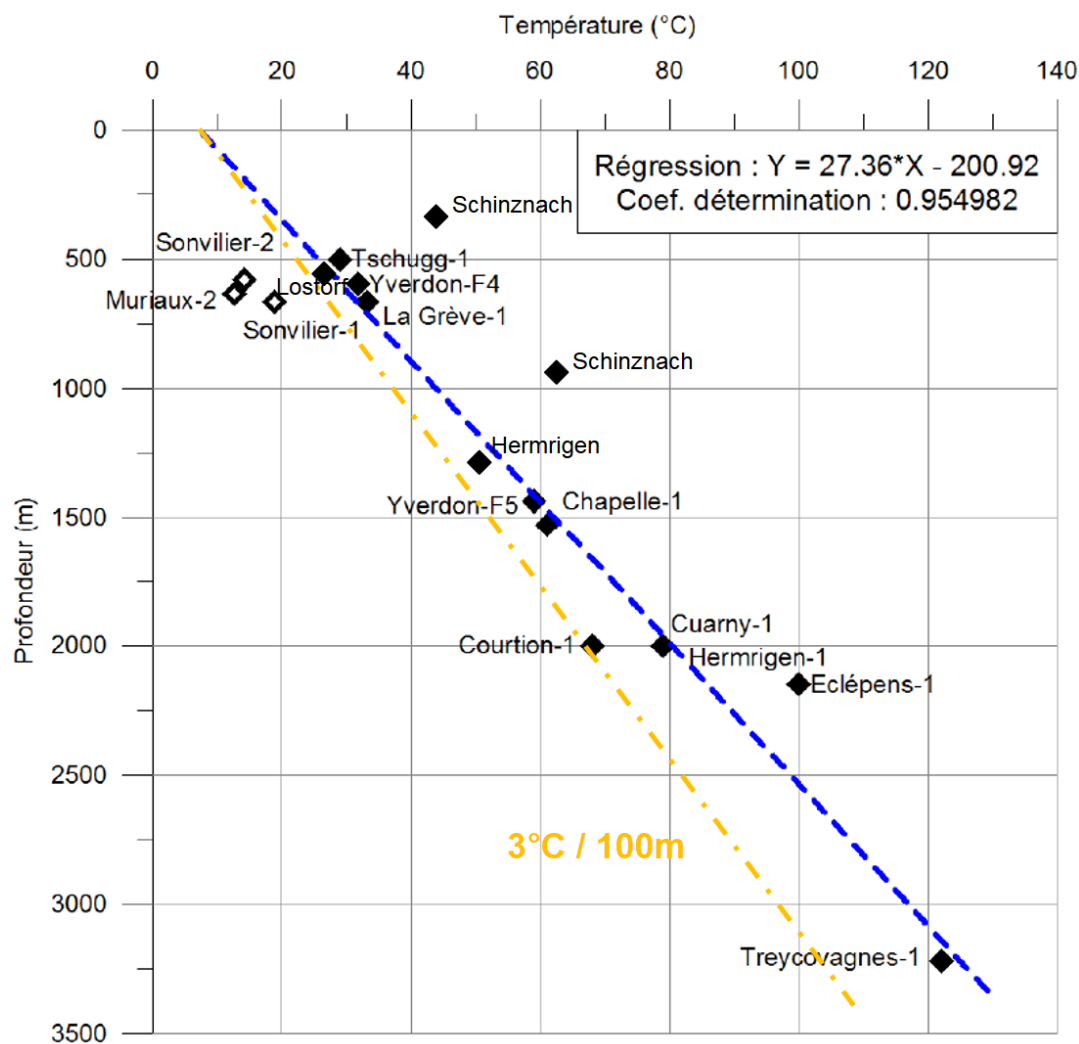


Abbildung 6: Untergrundtemperaturen in umliegenden Bohrungen

Gemessene Temperaturen in Bohrungen, verändert aus CREGE 2008. Die gelbe Linie stellt den normalen geothermischen Gradienten von 3°C pro 100 m Tiefe dar.

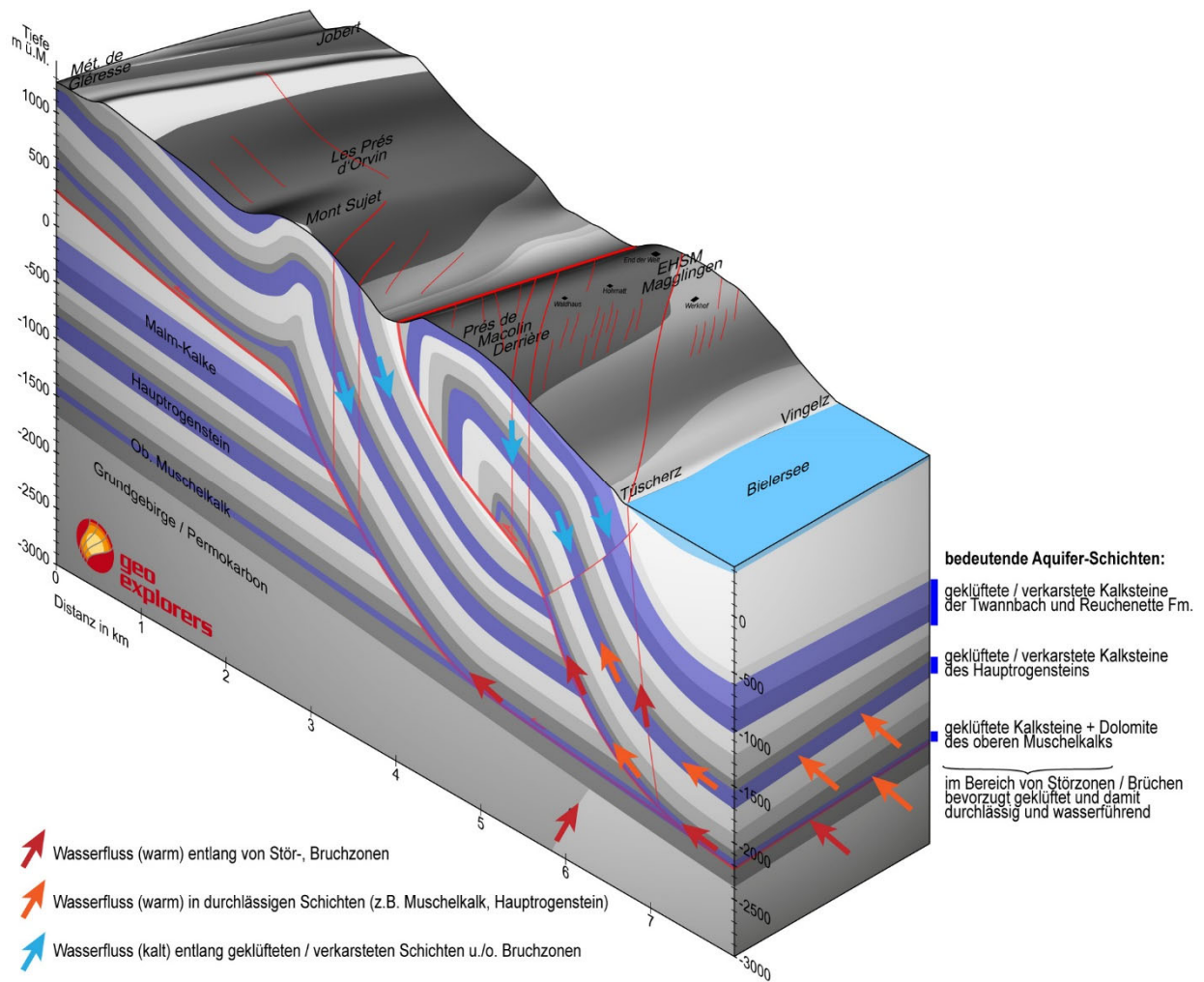
### 4.3 Hydrogeologie, Fliesswege, Temperaturen und Zielhorizonte

Wie von den oben beschriebenen Beispielen bekannt ist, steigen die warmen Muschelkalk-Wässer von Süden her am Jura-Südfuss auf. Zudem stossen auch insbesondere über steil stehende N-S-Brüche tiefe Thermalwässer aus dem Kristallin oder Permokarbon-Rand zu (Bsp. Bad Schinznach). Je tiefer, desto mehr wird auch kaltes Oberflächenwasser zugemischt. Letztere wird oben auf dem Hügel von Magglingen eher der Fall sein, als in grösserer Tiefe bzw. unterhalb vom Niveau des Bieler Sees.

Fakt ist, dass praktisch alle bisherigen Thermalwasser-Funde am Jura-Südfuss an tektonische Strukturen gebunden sind. Es liegt somit nahe, dass auch im Fall Magglingen der Fokus auf solche Bruchzonen liegen muss, da die Gesteine ohne Deformation oder Verkarstung zu dicht sind, als dass ausreichend Wasserzuflüsse für eine Nutzung möglich wären. Wie die geologische Karte und obiges geologisches Modell zeigen, kann sicher davon ausgegangen werden, dass kompetente und damit zu Klüftung neigende Gesteine sowie Überschiebungsbahnen und steil stehende Brüche vorhanden sind. Die grösste Wasserführung kann in ca. 1300 m Tiefe im Kreuzungsbereich der Überschiebungsbahn mit N-S-Brüchen im Oberen Muschelkalk erwartet werden (Abbildung 5). Hier kann je nach Dominanz von Zuflüssen von oben oder unten mit einem Temperaturbereich von 35-55°C gerechnet werden, wobei in diesen Tiefen eher die aufsteigenden warmen Wässer dominieren werden. Dies kann z.B. von den Bohrungen Hermrigen und Bad Schinznach abgeleitet werden. In der nahe gelegene Bohrung Hermrigen südlich von Biel wurden in einer Tiefe von 1300 m also auf Höhe vom bevorzugten Kreuzungsbereich 50°C und in 2000 m Tiefe 80°C gemessen. In Bad Schinznach fliesst in ca. 370 m Tiefe im Muschelkalk 44°C warmes Wasser zu.

In Abbildung 7 sind die potentiell möglichen wasserführenden Schichten, insofern sie geklüftet oder verkarstet sind, in Blau markiert. In Frage kommen i.W. die Malmkalke, der Hauptrogenstein und die Dolomite und Kalksteine des Oberen Muschelkalks. Wie die Abbildung 7 zeigt, können mit einer Bohrung in Magglingen mehrere solcher potentiellen Aquifere erschlossen werden. Die potentiellen Zuflüsse von Warm- und Kaltwasser aus der Tiefe bzw. von der Oberfläche her sind mit blauen bzw. roten Pfeilen gekennzeichnet (Abbildung 7 und Abbildung 8). Der Motor dafür sind die Druckpotential-Unterschiede. Im Muschelkalk ist bekannt, dass zu den Alpen hin das Druckpotential zunimmt. Entsprechend fliesst das Muschelkalk-Wasser von dort zum tiefsten Potential, wo es an der Oberfläche z.B. im Aaretal ausfliessen kann.

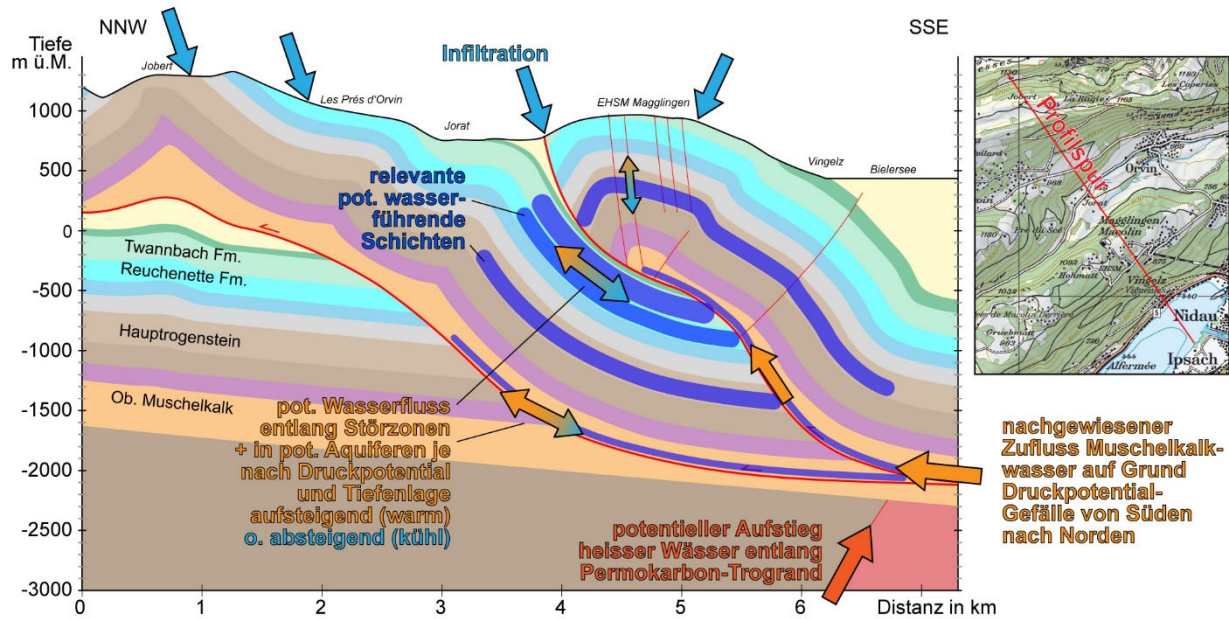
Die abgeleiteten Plays bzw. potentiellen Zielhorizonte sind in Abbildung 9 beschrieben. Ihre Bewertung erfolgt im nachfolgenden Kapitel.



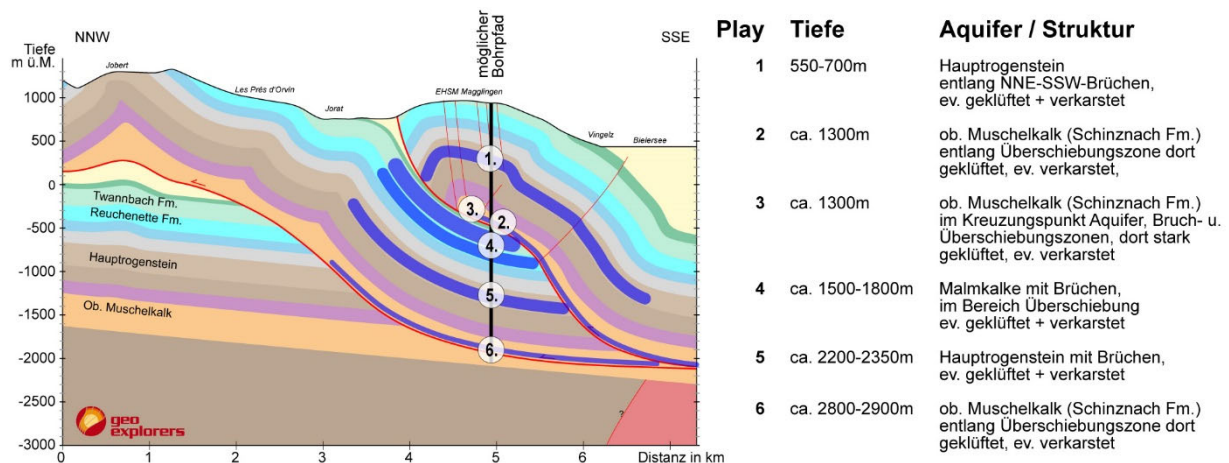
**Abbildung 7: Potentielle Aquifere am Projektstandort**

Die blau eingefärbten Schichten stellen potentielle wasserführende Schichten dar, insofern sie geklüftet oder verkarstet sind. Die Pfeile zeigen die Fliessrichtungen von Kalt- und Warmwasser. Die roten Linien stellen Bruchzonen dar.





**Abbildung 8: Querprofil mit Aquifern und Fliessrichtungen**  
Siehe auch Bildunterschrift Abbildung 7.



**Abbildung 9: Zielhorizonte am Standort Magglingen**

## 4.4 Potential, Chancen und Risiken

Folgende Fakten für den Standort Magglingen können definiert werden, die massgebend das geothermische Potential bestimmen:

- Kompetente Gesteine wie Kalksteine und Dolomite, die auf Deformation mit Klüftung reagieren und zu Verkarstung neigen, sind sicher vorhanden.
- Unter Magglingen liegen mehrere solcher Schichten übereinander.
- Mindestens eine bedeutende Überschiebungsbahn befindet sich unter Magglingen. Wie Bilanzierungen und die Tunnelbauten oder Bohrungen am Jura-Südfuss zeigen, muss diese vorliegen.

- Mindestens ein Horizont (der obere Muschelkalk bzw. die Schinznach Formation) sollte in direktem bzw. nahem Kontakt zur Überschiebungsbahn liegen.
- Mehrere steil stehende und ca. N-S streichende Brüche sind vorhanden. Einige davon zeigen auf der geologischen Karte deutliche Versätze. Diese N-S Brüche schneiden die oben erwähnten Schichten und höchstwahrscheinlich auch die Überschiebungsbahn.
- In solchen Bruch- bzw. Störzonen sind die kompetenten Gesteine stark geklüftet und somit durchlässig. Verschiedene Beispiele bestätigen dies (z.B. Riehen, Bad Schinznach, Bad Lostorf, Yverdon, Eptingen).
- Wie verschiedenste Beispiele (Tunnelbauten und Bohrungen am Jura-Südfuss) zeigen, sind die Temperaturen z.B. im Muschelkalk erhöht. Es kann davon ausgegangen werden, dass in Zieltiefe von ca. 1300 m Tiefe Thermalwässer mit 30-50°C vorliegen. Da der Zielhorizont weit unter dem Niveau vom Bielersee liegt, kann davon ausgegangen werden, dass der Einfluss durch die Infiltration von kalten Oberflächenwässern bis in diese Tiefe vernachlässigbar ist.
- Die grösste Unbekannte ist der tatsächliche Wasserzufluss und die Ergiebigkeit in einer Bohrung. Mit Hilfe von gängigen Ansäuerungsmassnahmen können Klüfte geweitet und weitere durchlässige Zonen angeschlossen werden, sodass die Förderrate deutlich erhöht werden kann. Es gibt Beispiele, wo durch Ansäuerungen die Durchflussraten um ein Mehrfaches erhöht wurden, z.B. Schlattigen, Bad Schinznach oder Courtemaiche (bis um das 10-fache), aber auch Unterhaching in Bayern. Bei letzterem wurde die Schüttungsraten um einen Faktor 37 auf 150 l/s erhöht.
- Dadurch, dass mehrere potentielle Aquifere und Bruchstrukturen vorliegen, können die Fündigkeitschancen erhöht werden, wenn durch mehrere dieser gebohrt wird, z.B. mittels einer Schrägbohrung.

In der Erdölindustrie wird versucht, das Potential mit dem POS (probability of success) zu quantifizieren. Dabei werden die verschiedenen Wahrscheinlichkeiten der Sollwerte miteinander multipliziert. Zwei Sollwertbeispiele im Fall Magglingen wären z.B. das Vorhandensein von kompetenten Gesteinen und Bruchstrukturen. Wie in der Präsentation vorgestellt, würde sich ein POS-Wert von ca. 0.6 ergeben, welcher für eine angemessene geologische Zuversicht bei geringem Risiko steht (1 steht für 100% sicher bzw. machbar und 0 für maximales Risiko bzw. geringste Fündigkeitschancen).

Das grösste Potential liegt mit dem derzeitigen Kenntnisstand im Kreuzungsbereich der Überschiebungsbahn mit den steil stehenden Brüchen im Oberen Muschelkalk in ca. 1300 m Tiefe. Die Chance ist realistisch, dass mehrere 100 l/min mit ca. 45°C Thermalwasser gefördert werden können. Die Chancen erhöhen sich, wenn schräg durch mehrere solcher Zonen gebohrt wird. Die Tatsache ist, dass am Standort ähnliche geologische Voraussetzungen bestehen wie in den oben beschriebenen Beispielen am Jura-Südfuss.

Es sei angemerkt, dass das geförderte Wasser wie z.B. in Bad Schinznach hochmineralisiert und wahrscheinlich salin (salzhaltig) sein wird. Was die genaue Zusammensetzung sein wird, kann nur spekuliert werden, da die verschiedenen Zuflusskomponenten und deren Quantitäten unbekannt sind. In Bad Schinznach konnte nachgewiesen werden, dass das Thermalwasser aus Komponenten aus dem Grundgebirge, dem Muschelkalk, umliegenden Höhenzügen und Oberflächenwasser aus den Aareschottern zusammengesetzt ist. Je nach angebohrter Schicht variierten die Zusammensetzungen in der ca. 900 m tiefen Bohrung in Bad Schinznach stark.

Je nach geochemischer Zusammensetzung des geförderten Wassers müssen entsprechende Rohrmaterialien verwendet werden.

Nachteilig ist, dass sich der Projektstandort auf der Höhe befindet und sich folglich der Wasserspiegel in grosser Tiefe befinden wird. Zwar ist das Muschelkalkwasser gespannt, aber trotzdem wird sich der Wasserspiegel wahrscheinlich einige Hundert Meter unter Terrain befinden. Dies bedingt entsprechend Pumpaufwand. Für 100 m Pumphöhe und 10 l/s Fördermenge muss grob mit 10 kW Pumpleistung gerechnet werden. Selbst gegenüber einer kleinen thermischen Leistung von 400 kW (10 l/s Förderrate, 10°C Temperaturdifferenz) wäre dies vertretbar, insbesondere weil dann das rückgegebene Wasser nicht verpresst werden muss.

Mit dem bestehenden Kenntnisstand können die genaue Tiefenlage und Verlauf der Schichten, der Überschiebungsbahn und der steilstehenden Bruchzonen in der Tiefe nur von der gegebenen Geologie an der Oberfläche (z.B. anstehende Gesteine, Einfallen von Schichten) und bekannten Mächtigkeiten der Schichten abgeleitet werden. Es muss mit einem entsprechenden Fehler gerechnet werden, der z.B. für den Zielbereich in ca. 1300 m Tiefe gut  $\pm 200$  m betragen kann. Dies ist ein Grund, warum eine seismische Vermessung vor der Erschliessung mit einer Bohrung zwingend ist.

Sollten eher untiefe Aquifere z.B. die oberen geklüfteten und verkarsteten Kalke des Malms oder Hauptrogensteins (max. 500-700 m tief), so müssen folgende Punkte beachtet werden: Ein Markierversuch im Oberen Malm (Eingabe in Les Prés-d'Orvin) hat gezeigt, dass die Markierstoffe innerhalb von 4 Tagen in der Brunnmühle-Quelle am Bieler See ankamen. Es muss also ein verbundenes Karstsystem von der höhergelegenen Chasseral-Antiklinale durch die Seekette von Magglingen bestehen. Das bedeutet, dass zumindest die vom Chasseral zufließenden Malmwässer eher kühl sein werden. Geht man von einem konstant einfallenden Grundwasserspiegel von der Chasseral-Antiklinale hin zum Vorfluterniveau des Bielersees aus, so würde grob der Felsgrundwasserspiegel bei max. 200 m u.T. liegen. Lokale Grundwasservorkommen, Topographie-Effekte, gute Karstfliesswege, das höhere hydraulische Potential nördlich des Untersuchungsstandorts und der oben beschriebene Markierversuch lassen vermuten, dass der Spiegel weniger tief angesetzt werden kann. In Karstsystemen sind der Wasserfluss und der Grundwasserspiegel von Regen- und Trockenzeiten abhängig. Quellen auf der Südseite der Seekette zeigen dies. Folglich muss die Entnahme ev. entsprechend reguliert werden.

Je nach Durchlässigkeit der Reservoirgesteine bzw. Ergiebigkeit und Förderrate wird durch das Pumpen der Grundwasserspiegel am Standort unterschiedlich stark gesenkt. Je schneller Wasser nachfliessen kann, desto geringer ist die Absenkung. Die Fördermenge muss entsprechend an die Absenkung bzw. Durchlässigkeit angepasst werden, wobei ein möglicher thermischer Kurzschluss vermieden werden muss.

In nachfolgender Tabelle sind die Chancen und zu erwartenden geothermischen Bedingungen für die verschiedenen in Frage kommenden Plays bzw. Zielhorizonte beschrieben. Zudem werden in der letzten Spalte die realistische thermische Leistung und zu erwartenden Bohrgrobkosten für eine Bohrung bis auf die jeweilige Zieltiefe angegeben. Entsprechend ergibt sich das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis für den Kreuzungsbereich in ca. 1300 m Tiefe.



**Tabelle 1: Geothermisches Potential in Magglingen**

Play Tiefe	Chance Aquifer / Struktur anzubohren	Q (Förderrate / Durchlässigkeit / Ergiebigkeit)	Temperatur	Verhältnis Nutzen zu Kosten
1 550- 700m	+ Hauptrogenstein + parallele Querbrüche sicher vorhanden (geol. Karte) -> berechnete Chance, geklüftete Zonen mit Schrägbohrung anzubohren	+ einige 100 l/min (wenige l/min - einige 1000 l/min) abhängig von Bruchsystem (von Vorteil kreuzend), Klüftigkeit, Verkarstung, langfristige Ergiebigkeit unklar	o 20-30°C, abhängig ob Zufluss von oben o. unten	o / + geringes-mittleres ca. 1-2 Mio. SFR <1 MW <sub>th</sub>
2 ca. 1300m	++ Überschiebungsbahn + ob. Muschelkalk sicher vorhanden -> hohe Chance des Antreffens (vgl. mit Beispielen am Jura-Südfuss)	++ einige 100 l/min (100 l/min - 10000 l/min) abhängig von Bruchsystem, Intensität Klüftigkeit + Verkarstung, langfristige ergiebig (Nachweise entlang Jura-Südfuss)	++ 35-55°C, abhängig von Durchmischung mit anderen Aquiferen (vgl. mit Hermrigen: 50°C in 1300m), abdichtende Schichten darüber + Vgl. mit Beispielen sprechen eher für warmen Zufluss von unten	++ hohes ca. 2-3 Mio. SFR ca. 1 MW <sub>th</sub>
3 ca. 1300m	+ hohe Wahrscheinlichkeit sich kreuzender Querbrüche, Überschiebungsbahn + Aquifer, aber Kreuzungspunkte müssen genau lokalisiert werden	++ mehrere 100 l/min (300 l/min - 10000 l/min) abhängig von sich kreuzenden Bruchsystemen mit Aquifer, Intensität Klüftigkeit, ev. Verkarstung, langfristig ergiebig, Vgl. mit Schinznach, dort kreuzt Bruch Überschiebung	+++ höchstes ca. 2,5-3,5 Mio. SFR abgelenkt gebohrt ca. 1-3 MW <sub>th</sub>	
4 ca. 1500- 1800m	+ Malmkalke vorhanden, hohe Wahrscheinlichkeit dass von Brüchen durchzogen und in Nähe zu Überschiebung geklüftet, aber genaue Lage und Klüftichte unbekannt	+ wie „1“ aber langfristig ergiebiger (gute Infiltration von N / oben möglich), Nähe zur Überschiebung und damit wahrscheinlich geklüftet, genaue Lage + Dichte der Brüche unbekannt	+ 25-55°C, unklare dominierende Zuflussrichtung kalter infiltrierender Wasser von N / oben o. warmer aufsteigender von S / unten	+ mittleres ca. 3-4 Mio. SFR <1 MW <sub>th</sub>
5 ca. 2200- 2350m	+ wie bei „4“, aber nicht im Einfluss Überschiebungsbahn	o / + wie „1“ und „4“, vgl. Hermrigen -> Potential vorhanden aber geringer, da Strukturierung unklarer und nicht in Nähe zu Überschiebung	++ 55-75°C, abhängig von Zuflussrichtung (vgl. mit Hermrigen: 85°C in ca. 2000m Muk.)	o / + mittleres ca. 5 Mio. SFR <1 MW <sub>th</sub>
6 ca. 2800- 2900m	+ ob. Muschelkalk sicher vorhanden, aber offene Klüftigkeit (grosse Tiefe) + Vorhandensein von Brüchen unbekannt	o / + zwar ähnlich „2“, aber unklar wie in dieser Tiefe die Klüfte offen sind (vgl. mit Schinznach dort tiefe Schuppen weniger durchlässig)	+++ 60-80°C, abhängig von Zuflüssen z.B. aufsteigender Wasser aus Permokarbondrog	- / o geringes ca. 8-10 Mio. SFR <1-2 MW <sub>th</sub>
++ sehr vorteilhaft, hohe Erfolgswahrscheinlichkeit + angemessen, aussichtsreich, geringes Risiko o unklar, möglich, moderate Chance - hohe Erfolgsrisiken		allgemein: überall im Faltenjura o. Jurasüdfuss haben praktisch alle Bohrungen / Tunnel in kompetenten Gesteinen (sub-) thermale Wasserzutritte nachgewiesen Nachteil: auf Hügel, Wasserspiegel tief, ev. hoch mineralisiert im Muschelkalk, Bruchsysteme derzeit nicht genau lokalisiert		
		Grobkosten für eine Bohrung, abhängig von Tiefe, Verfügbarkeit (Ol-, Stahlpreis), Ablenkung, Standortmassnahmen (z.B. Larmschutz), Möglichkeit 24 Std.-Betrieb / wahrscheinlichster Wert für MW <sub>th</sub> bei angenommener mittlerer Erfolgschance		

## 5 Explorationskonzept

### 5.1 Vorgehen

Die Chancen, dass erfolgreich ein geothermisches Reservoir erschlossen wird, hängen massgeblich von den Vorarbeiten und einer angepassten Exploration ab. Die Erkundung muss in einem sinnvollen Mass zu den Erfolgchancen und zur möglichen Leistung des geothermischen Kraftwerks stehen.

Grundsätzlich geht man wie folgt vor:

- Beschaffung und Auswertung aller bestehenden Daten (Seismik, Logging Daten von umliegenden Tiefbohrungen und Berichte). Erstellung eines möglichst detaillierten geologischen Modells. Dies ist mit diesem Bericht erfolgt.
- Basierend darauf wird eine sinnvolle Erkundung definiert. Diese umfasst mindestens eine 2D-Seismik, im Fall komplexer Geologie mit stark einfallenden Schichten und schwieriger Topographie ist eine 3D-Seismik vorzuziehen. Letztere muss entsprechend im Fall Magglingen erfolgen, denn nur so kann ein genaues Abbild des Untergrundes mit exakter räumlicher Lage der Strukturen bestimmt werden. Liegt der Fokus auf Bruchzonen, so kommt generell immer eine 3D-Seismik zum Tragen, wie z.B. in St. Gallen oder bei den unzähligen Geothermie-Projekten in Bayern.

Bei der 2D-Seismik werden die Anregungspunkte und die Geophonpunkte entlang einer Linie ausgelegt. Als Ergebnis erhält man ein Profilschnitt vom Untergrund. Bei der 3D- Seismik liegen die Anregungs- und Geophonlinien flächendeckend und senkrecht zu einander. Während der Anregung der Schallwellen sind viele Geophonlinien aktiv. Die Geophone zeichnen die reflektierten Schallwellen aus verschiedensten Anstrahlrichtungen auf. Somit kann man ein genaueres und detaillierteres räumliches Abbild vom Untergrund generieren. Mit der Seismik wird der Untergrund wie mit einem Echolot durchleuchtet und geologische Grenzen, an denen die erzeugten seismischen Wellen reflektiert werden, visualisiert. Dabei werden von Vibrolastwagen (Abbildung 10) Schallwellen in den Untergrund geschickt, welche teilweise an Gesteinsgrenzen reflektieren und von Geophonen an der Oberfläche wieder registriert werden (Abbildung 11 und Abbildung 12). Solche Grenzen sind Schichtgrenzen bzw. Materialkontraste im Untergrund, welche unterschiedliche seismische Geschwindigkeiten aufweisen. Aus den unterschiedlichen gemessenen Laufzeiten der Wellen wird ein Abbild des Untergrunds erstellt werden (Abbildung 13). Mit der Interpretation dieser Daten kann das geologische Modell korrigiert und verfeinert werden. Es lassen sich Bruchzonen und Bohrziele definieren.

- Sind auf Basis der Seismik Zielbereiche definiert, wird ein Bohrkonzert erstellt. Im vorliegenden Fall sollten möglichst mehrere Plays durchbohrt und während dem Bohrfortschritt getestet werden.
- Nach erfolgter Bewilligung vom Kanton kann mit den Bohrarbeiten bzw. einer Erkundungsbohrung begonnen werden. Werden mögliche Zielhorizonte durchbohrt, sollten diese auf ihre geothermische Eignung hin untersucht und getestet werden. Dafür werden verschiedene geophysikalische Logs und Pumptests im Bohrloch gefahren, mit denen man z.B. die Lithologien, Ergiebigkeiten, Wasser-Führung usw. bestimmen kann. Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen Beispiele von kleinen und sehr grossen Tiefbohranlagen.





**Abbildung 10: Seismische Messungen mit Vibrotrucks in Nidwalden**

Seismikkampagne in schwierigem Gelände in Nid- und Obwalden, geplant, geleitet und ausgewertet von Geo Explorers AG.



**Abbildung 11: Auslegen der Geophone in Nidwalden**



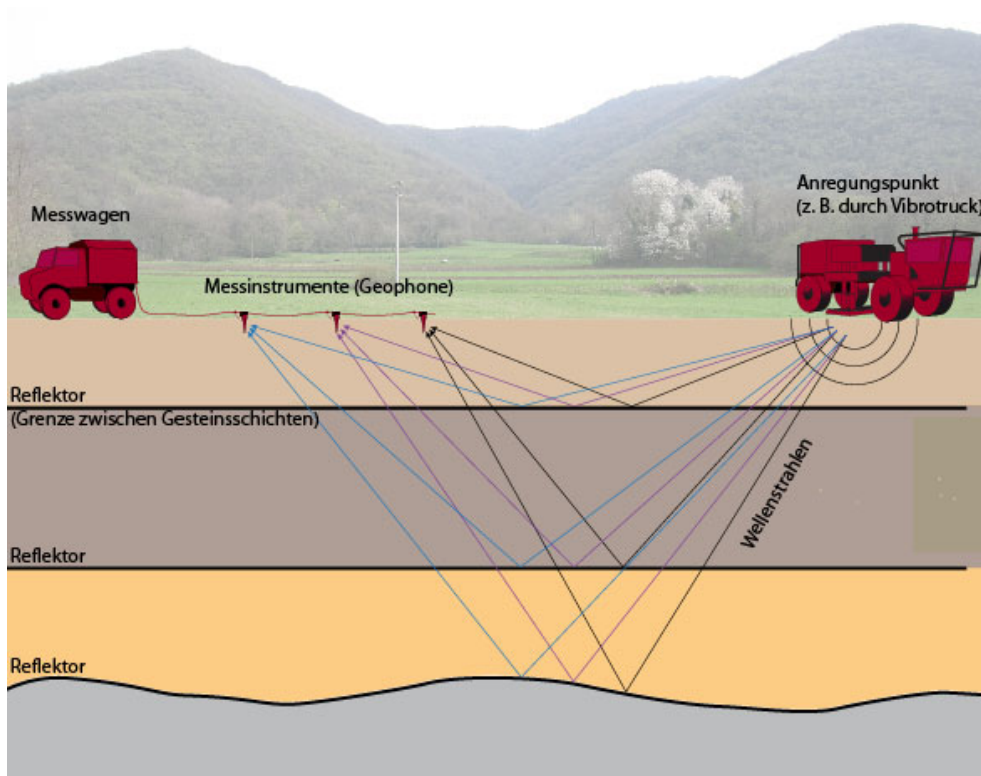


Abbildung 12: Prinzip seismischer Messungen

Vom Vibrationspunkt aus breiten sich radialförmig Schallwellen im Untergrund aus. Diese werden an Schichtgrenzen reflektiert und gelangen wieder an die Oberfläche. Dort wird eine geringfügige Bodenschwingung durch die ankommende Schallwelle mit Geophonen registriert.

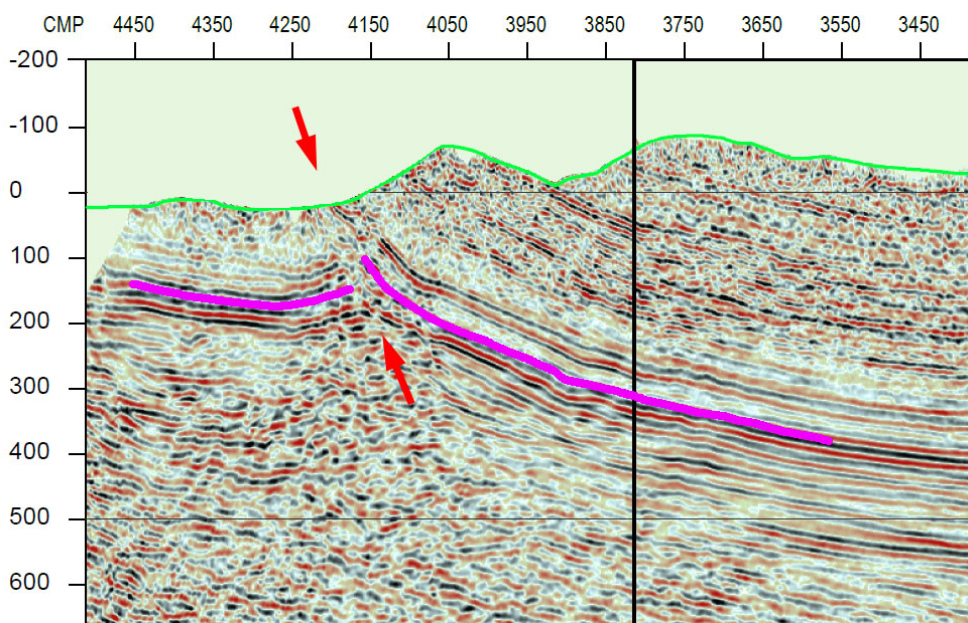
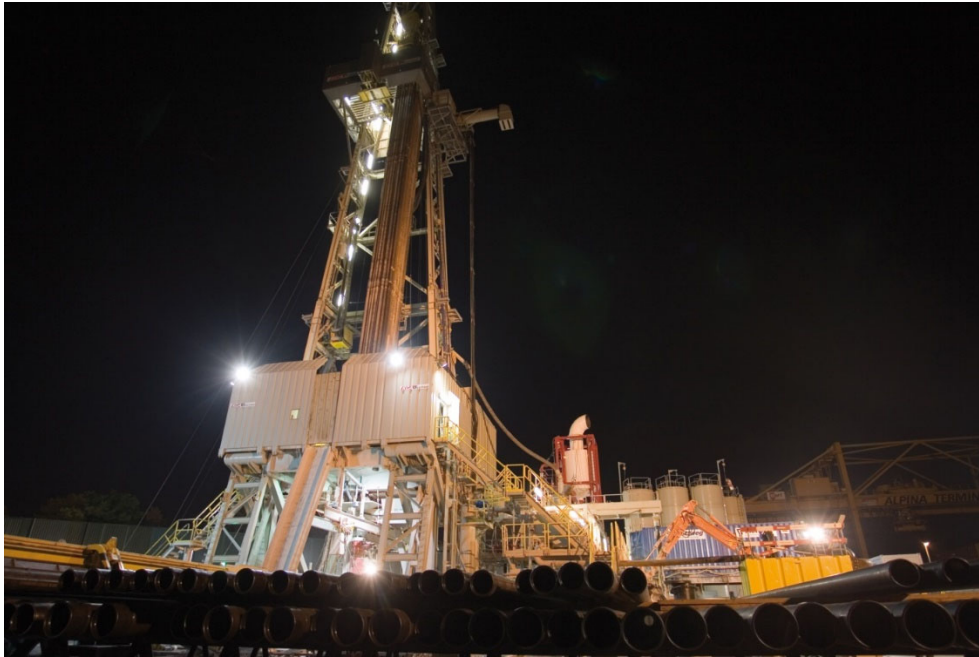


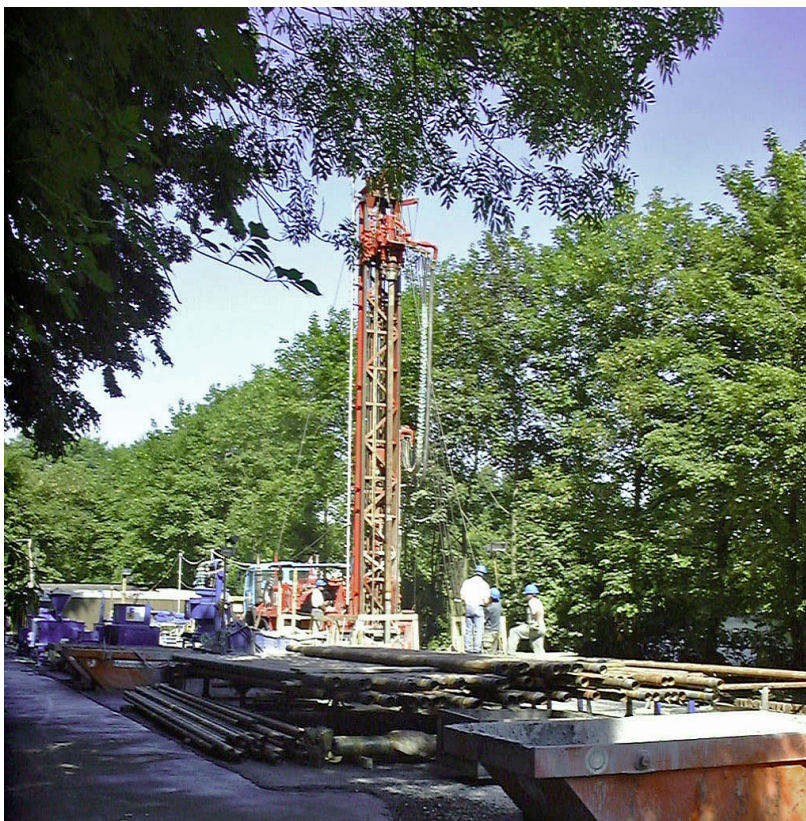
Abbildung 13: Beispiel einer 2D-Seismik-Linie im östlichen Jura

Ausschnitt aus dem NAB 13-10 der Nagra, Linie 11NS08 aus dem Jahr 2011 (Y-Achse = Tiefe in gemessener Zeit). Gut zu erkennen, sind die verbogene Schichtung und der Bruch zwischen den roten Pfeilen. Mit einer 3D-Seismik lassen sich solche Zonen genauer aufdecken.





**Abbildung 14: Tiefbohrung Basel-1 auf 5000 m. Beispiel für eine grosse Anlage**



**Abbildung 15: Bohrung Otterbach-1 auf 1535 m. Beispiel für eine kleinere Anlage**

## **5.2 Seismische Erkundung in Magglingen**

Wie in Kapitel 5.1 beschrieben, ist für die Bohrziel-Definition in Magglingen eine 3D-Seismik notwendig. Mit der Seismik sollen der genaue Verlauf und Tiefenlage der Schichten und

Bruchzonen ermittelt werden. Abbildung 16 zeigt den Umfang und die Linienführung für eine seismische Vermessung in Magglingen. Auf Grund der Topographie und des Wegenetzes stehen nicht viele Möglichkeiten zur Auswahl. Bei einer seismischen Vermessung wird entlang Linien gearbeitet, die möglichst gerade sein sollten. Die möglichen Vibrationspunkte geben das Raster vor. Im vorliegenden Fall gibt es parallel zu den Hängen genügend Forstwege, die mit Vibrotrucks befahren werden können und vergleichsweise gerade Anregelinien ermöglichen. Senkrecht dazu sind praktisch keine Messlinien für die Vibrotrucks möglich. In dieser Richtung würden die Geophonketten ausgelegt. Damit im Zielbereich unter dem Sportzentrum eine volle Überdeckung der eingestrahlten Energie durch die Vibrotrucks erreicht werden kann, also eine grösstmögliche Auflösungsgenauigkeit, muss die Vermessung mindestens um die Zieltiefe weiter nach aussen gezogen werden. Dies erklärt die grosse zu vermessende Fläche.

Das Messlayout wird in einem ersten Schritt wie folgt angedacht. Die zu vermessende Fläche ist ca. 14 km<sup>2</sup> gross. Der Linienabstand zwischen den Anregungslinien liegt bei ca. 300-400 m, der der Geophonlinien bei 250 m. Die totale Länge der Geophonlinien liegt bei ca. 54 km und die der Anregungslinien bei ca. 36 km. Die Anzahl der Anregepunkte mit den Vibrotrucks wird bei grob 2000 liegen. Die genauen Werte zusammen mit Eckdaten wie Anzahl Sweeps, Sweeplänge, Anrege-Frequenzspektrum, Geophongruppen-Abstände, Anzahl und Stärke der Vibrotrucks usw. müssen vorweg passend auf die Geologie, Topographie, Zieltiefe und erforderliche Auflösungsgenauigkeit simuliert werden. Mittels einem Vorort-Scouting aller zu befahrenden Wege während der Planung, wird vorweg abgesichert, dass die Wege auch befahren werden können, oder ob Linien verschoben werden müssen.

Der Ablauf und die einzelnen Arbeitsschritte einer Seismikkampagne sind in Abbildung 17 beschrieben.

**Tabelle 2: Planungswerte für die 3D-Seismik in Magglingen**

<b>Mögliche Aufnahmeparameter 3D-Seismik</b>	
Fläche	2000 m
Linienabstand Anregepunkte	14 km <sup>2</sup>
Total Anregepunkte	gemittelt ca. 350 m
Linienabstand Geophone	ca. 2000
Total Aufnahmepunkte	250 m



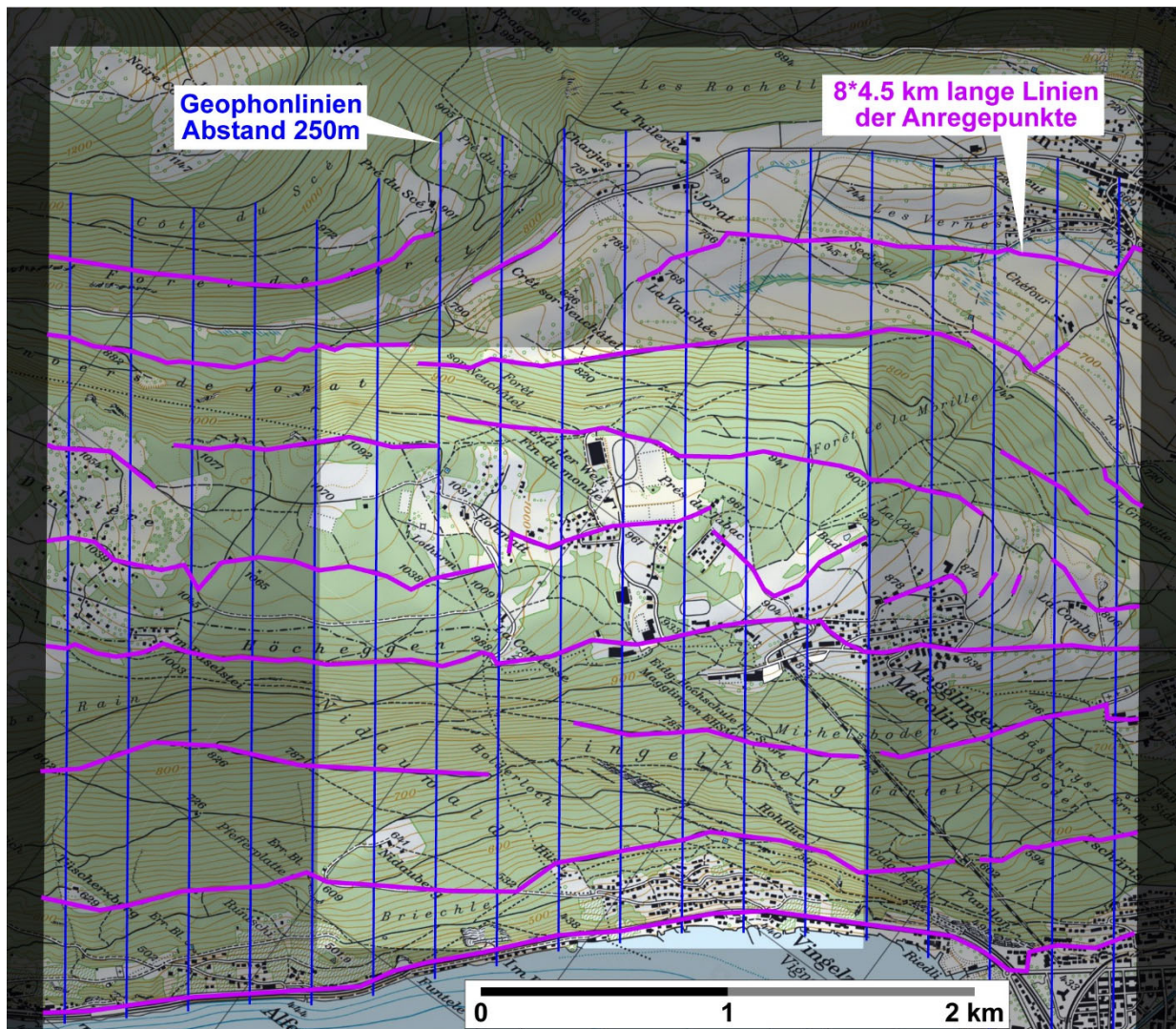
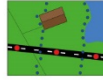


Abbildung 16: Linienplan für die seismische Erkundung

Pink die möglichen Linien der Anregepunkte mit den Vibortrucks, Blau die Linien der verlegten Geophone. Das nicht grau überlagerte Kerngebiet ist der Bereich, der mit voller Überdeckung mit maximaler Auflösungsgenauigkeit abgedeckt werden soll.

## Ablauf der Seismikkampagne:

1a. Detailplanung (Scouting, Parameterdefinition mittels Simulation, Abklärungen bei Kanton und Gemeinde)



1b. Erstellung Ausschreibungsunterlagen auf Basis Detailplanung (Seismikfirma, Birdog, Processingfirma, Geologe für Permitting, Begleitung, Interpretation, geol. Modell)



2. Aufgleisen der Finanzierung

3. Einholen von Bewilligungen auf Kantons- und Gemeindeebene



4. Informationskampagne (Vorstellung der seismischen Untersuchungen)



4. Einholen von Durchgangsbewilligungen bei den Grundeigentümern



5. Vermessen der Geophon- und Anregepunkte



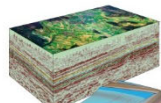
6. Auslage der Geophonketten und Messkabel



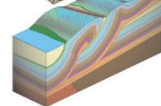
7. Durchführung der Messungen



8. Aufräumarbeiten (Geophone und Messkabel werden wieder entfernt)



9. Prozessierung der Daten und Interpretation



10. Erstellung geol. 3D-Modell und Definition Bohrziel

Abbildung 17: Arbeitsschritte bei einer seismischen Vermessung

## 6 Erdwärmebohrungen

Mit Hilfe der Seismik können die Bohrziele definiert werden. Dabei gibt die Geologie bzw. das Bohrziel den Bereich des Bohrstandorts vor. Anhand von verschiedenen Kriterien (Platz-Angebot, Bewilligungsfähigkeit, Nähe zu Wohnhäusern, Distanz zum Bohrziel, Zufahrt) wird dann an der Oberfläche der Bohrstandort in möglicher Nähe zum Bohrziel definiert. Da wahrscheinlich ohnehin abgelenkt gebohrt werden muss, sollten sich mit Hilfe der Ablenkung mehrere potentielle Bohrziele von diesen Standorten erreichen lassen. Es wird aber empfohlen, den Bohrplatz auf Grund des grössten geologischen Potentials zu wählen und nicht auf Grund der einfacheren Handhabung des vorübergehenden Bohrplatzes. Bei einer Richtbohrung bzw. abgelenkten Bohrung wird der Bohrkopf gesteuert und kann die Bohrziele genau treffen. Der Bohrplatz muss somit nicht vertikal über dem Bohrziel liegen. Bei einer Geothermiebohrung im Kanton Thurgau (Schlattingen) wurde dies kürzlich in der Schweiz angewandt, allerdings nicht wegen Platzproblemen, sondern damit der Muschelkalk über eine längere Strecke erschlossen werden konnte (Abbildung 23).

Bei einer Bohrung mit einer Bohrlänge von 1500 m ist ein 24h-Betrieb üblich. Grundsätzlich sind 12h Schichten auch möglich. Die Bohranlage muss dann aber jeden Tag von neuem in bzw. ausser Betrieb genommen werden, was einen zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand bedeutet und die kostspieligen Bohrtage verdoppelt bis verdreifacht. Es gibt zudem Situationen bei speziellen Operationen (Setzen der Verrohrung, Zementation, Bohrprobleme) bei denen aus technischen Gründen durchgearbeitet werden muss und deshalb in Einzelfällen auch ein 24h Betrieb, respektive ein längerer Betrieb gewährleistet sein muss.

### 6.1 Technische Vorgaben zur Bohrung

Folgende technische Vorgaben wurden für das Bohrlochdesign vorab festgelegt:

- Max. Schüttung (l/s): 30
- Anzahl der Bohrplätze: 1 Sammelbohrplatz
- Abstand Obertage (m): < 10
- Abstand Untertage (m): 1000 (an OK Nutzhorizont)

### 6.2 Bohrtechnisches Konzept

#### 6.2.1 Allgemeine technische Grundsätze

Da der Austausch und die Reparatur der Verrohrung in den Bohrlöchern einen hohen finanziellen und zeitlichen Aufwand bedeuten, müssen die Materialien beim Einsatz in der Geothermie besondere Kriterien erfüllen:

- Eignung für die Thermalwassergewinnung (Korrosionsbeständigkeit).  
Stähle sind nur in besonderen Legierungen gegenüber der Sole korrosionsbeständig.
- Eignung für eine bergbausichere und umweltgerechte Lösung  
(dauerhafte Dichtheit der Gewindeverbindungen) sowie für die Erfüllung der Anforderungen an eine Thermalwasserbohrung.
- Eignung für eine komplikationslose Handhabung während des Bohr- und Komplettierungsprozesses (Festigkeitseigenschaften)



Um jede Bohrung gegebenenfalls als Förderbohrung nutzen zu können, werden die Rohrdurchmesser so gewählt, dass in jede der beiden Bohrungen eine Tiefpumpe bis ca. 500 m eingebaut werden kann. Die Entscheidung, welche der beiden Bohrungen Förder- und Injektionsbohrung sein wird, kann erst infolge der Testergebnisse aus Pump- bzw. Zirkulationstests getroffen werden.

Die minimale Einbautiefe der Tiefpumpe resultiert aus der maximalen Absenkung + Pumpenüberdeckung für Vordruck (ca. 150 m) + Einbaulänge der Pumpe (ca. 10-15 m).

Folgende Anforderungen werden zum Einbau der Tiefpumpe gestellt:

- Förderung von Thermalwasser mit Temperaturen von bis zu 65 °C
- Volumenstrom von max. 30 l/s (108 m<sup>3</sup>/h)
- Rohrdurchmesser im Pumpenbereich: mind. 9 5/8" (ID=224,4mm)

### 6.2.2 Anforderungen an die Bohrlochkonstruktion:

- zum Schutz der Bohrungen vor Korrosion werden innenbeschichtete Schutzrohrtauren vorgesehen
- Innenbeschichtung beständig gegenüber Thermalsole mindestens bis Temperaturen von 65 °C
- Auslegung auf eine max. zulässige Strömungsgeschwindigkeit von 2,5 m/s. Somit ergibt sich ein erforderlicher Mindestrohrdurchmesser für 30 l/s von 5 1/2" (ID=119mm)

## 6.3 Aufschluss und Komplettierung der Bohrungen

### 6.3.1 Bohrtechnik

Der bohrtechnische Aufschluss des Nutzhorizontes erfolgt im Rotary-Spülbohrverfahren. Als Bohrwerkzeuge kommen Rollenmeissel, ausgeführt als Warzen- oder Zahnmeissel oder PDC Meissel zum Einsatz. Diese Bohrwerkzeuge werden über das Bohrgestänge angetrieben durch die Bohranlage mittels Topdrive angetrieben.



Abbildung 18: gebrauchter Rollenmeissel (Warzenmeissel)



**Abbildung 19: PDC Meissel (PDC= polycrystalline diamond compact cutter) (BGR)**



**Abbildung 20: Gebrauchter Rollenmeissel (Zahnmeissel)**

Für die Erzeugung der erforderlichen Ablenkung der Bohrung zur Erreichung der auseinanderliegenden Bohrziele kommt die Richtbohrtechnik zum Einsatz. Hierbei wird unmittelbar hinter dem Bohrmeissel ein Untertageantrieb eingebaut, der über ein Knickstück verfügt. Der Hauptantrieb des Bohrmeissels wird jetzt über diesen Bohrmotor erzeugt, der wiederum von der Spülung angetrieben wird.



**Abbildung 21: Untertagemotor mit Knickstück (Bild: Weatherford)**



Die Orientierung des Knickstücks kann mittels untertägigem Messsystem installiert direkt hinter dem Bohrmotor ermittelt und per Pulssystem nach Übertage übertragen werden. So sind gerichtete kontrollierte Bohrungen in alle Richtungen und mit allen Neigungen möglich

Zum Kühlen des Bohrmeissels, zum Transport des Bohrguts an die Oberfläche und zum Antrieb des Bohrmotors wird die sogenannte Bohrspülung eingesetzt. Diese wird je nach geologischen und bohrtechnischen Anforderungen entsprechend zusammengemischt. Der wasserbasierten Spülung wird in der Regel als Hauptbestandteil Bentonit, ein Tonmineral, zugesetzt. Die Spülung wird übertägig durch die Spülpumpen auf den erforderlichen Druck gebracht, nach unten durch das Bohrgestänge zum Bohrmeissel geleitet und kommt beladen mit Bohrgut im Ringraum wieder nach oben. Dort wird die Bohrspülung abgeleitet und mittels Rüttelsiebe und Zentrifugen aufbereitet, um so dem Kreislauf wieder zugeführt werden zu können. Einfache Bohrspülungen können nach Aufbereitung über die Kanalisation entsorgt werden (Genehmigungssituation beachten!), komplexere Bohrspülung müssen hingegen deponiert werden

### **6.3.2 Allgemeine Anforderungen Bohrung**

Die Dimensionierung der Bohrungen (Bohrdurchmesser und Verrohrung) entspricht der Auslegungsgrösse der zu realisierenden Thermalwasserfördermenge von max.30 l/s. In die Bohrungen wird ein Korrosionsschutzsystem integriert, da das stark mineralisierte Thermalwasser erfahrungsgemäss korrosiv wirkt. Alle thermalwasserberührten Teile werden aus korrosionsbeständigen Materialien gefertigt bzw. werden durch entsprechende Beschichtungen geschützt:

- Schutzrohrtouren (korrosionsbeständige Innenbeschichtung)
- Ringraumschutzflüssigkeiten zwischen Endverrohrung und Schutzrohrtour

Der Korrosionsschutz sollte sich bei der späteren Endinstallation wie folgt fortsetzen:

- Tiefpumpe (Monelbeschichtung bzw. Duplex oder vollaustenitische Stähle)
- Pumpenförderrohrstrang aus beschichtetem Stahl
- Innenbeschichteter und gasdichter Sondenkopf/ Bohrlochabschluss
- Stickstoffbeaufschlagung (Verhinderung Sauerstoffzutritt)

## **6.4 Bohrablauf**

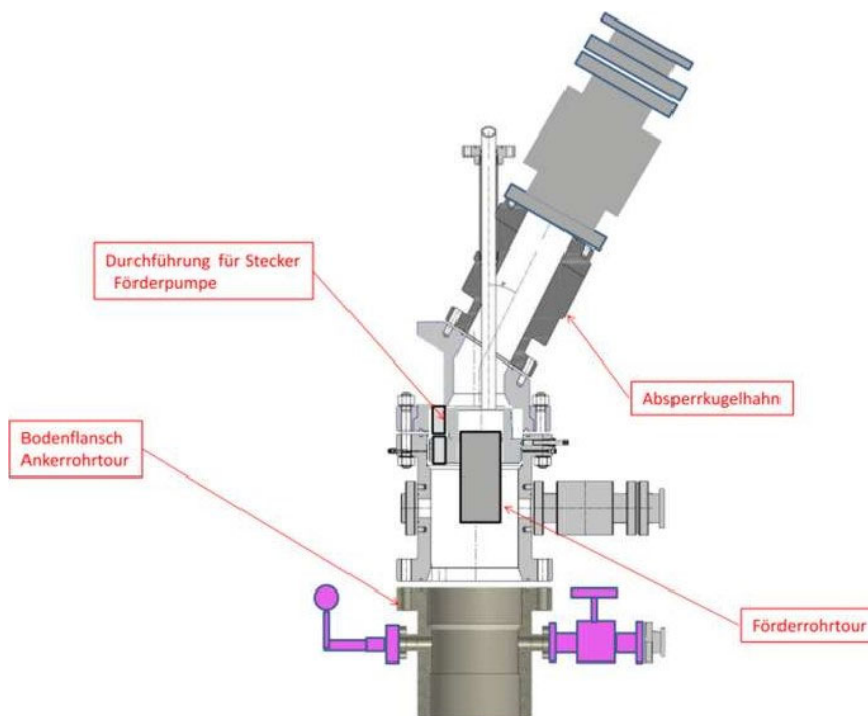
### **6.4.1 Ablauf der Bohrungen**

- Errichtung des Bohrplatzes mit zwei Bohrkellern, einschliesslich Setzen der Standrohre (ca 20")
- Bohren, Rohreinbau und Zementation
- Geophysikalische Vermessung des offenen Bohrloches vor jedem Rohreinbau
- Spülungswechsel auf eine speicherschonende Spülung und Aufschluss des Speichers bis Endteufe
- Durchführung eines Reinigungsliftes zur Säuberung des bohrlochnahen Bereichs
- Durchführung von Stimulationsarbeiten (Säuerung)
- Durchführung von Testarbeiten
- Aufbau und Abdichtung Bohrlochabschluss
- Umsetzen der Bohranlage auf zweiten Bohrkeller (ca. 10 m)

- Erstellen der 2. Bohrung analog zur 1. Bohrung

#### 6.4.2 Bohrlochabschluss

Um das Bohrloch nach den Bohrarbeiten verschliessen zu können, wird ein Bohrlochabschluss verwendet. Der Bohrlochabschluss ist je nach Vorgaben der Behörden in einer entsprechenden Druckstufe auszuführen. Dabei werden meist die API Normen herangezogen. Standarddruckstufen sind 1500psi, 3000psi und 5000psi. Wir erwarten hier am Jurasüdfuss Druckstufen von max. 1500psi.



**Abbildung 22: Schematische Darstellung Bohrlochabschluss 3000psi**

Der Bohrkopf für die Injektionsseite ist ähnlich, jedoch ohne Durchführungen für die Pumpenkabel.

#### 6.4.3 Pumpversuch

Nach jeder fertiggestellten Bohrung wird das Bohrloch mittels Lufthebeverfahren (Airlift) gereinigt. Durch das zutage geförderte Wasser werden bereits erste Erkenntnisse über die Temperatur und Zusammensetzung des Wassers gewonnen. Das Wasser wird in die vorhandenen Becken gepumpt und bei entsprechend niedrigen Temperaturen und geeigneter Zusammensetzung in die Kanalisation geleitet. Um die Produktivität im Untergrund noch zu vergrössern, kann verdünnte Salzsäure in das Bohrloch verpumpt werden. Die Säure öffnet /löst den Kalk im Speicher und verbessert den Anschluss der Bohrung an das wasserführende Kluftsystem.

#### 6.4.4 Zirkulationstest

Wenn auch die zweite Bohrung fertiggestellt worden ist, wird mittels der Tiefenpumpe das Wasser über das obertage installierte Rohrleitungssystem von der einen in die zweite Bohrung

gefördert. Der Versuch kann je nach Anzahl der zu testenden Förderraten mehrere Wochen lang durchgeführt werden. Anhand der daraus gesammelten Erkenntnisse können die entsprechenden geophysikalischen Parameter sowie die maximale Förderleistung der Bohrungen bestimmt werden.

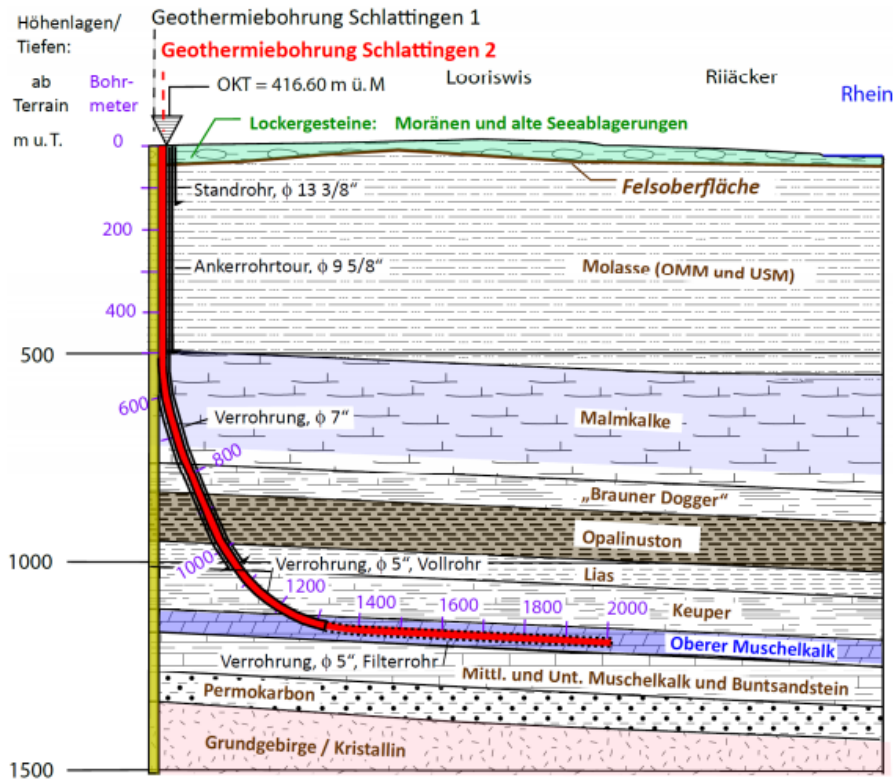


Abbildung 23: Beispiel einer abgelenkten Bohrung in der Schweiz

**Stark abgelenkte Bohrung im oberen Muschelkalk (Bohrung Schlattigen 2 aus dem Jahr 2013 mit einer Bohrlänge von 2000 m, Quelle: infogeothermie.ch)**

## 6.5 Bohrplatzbau

Anhand der oben definierten Daten zu den Bohrungen, kann die Bohranlage, die Bohrplatzgröße und dessen Ausführung bestimmt werden.

Der Standort der Bohrplätze ergibt sich aus geologischen Gesichtspunkten bzw. nach entsprechender Verfügbarkeit von passenden Grundstücken. Es wurde die Vorplanung für den Bereich des Parkplatzes vor dem Werkhof näher untersucht.

## 6.6 Vorhandenes Gelände

Das Gelände am Standort ist leicht abfallend. Der Platz ist befestigt (Teerbelag) und könnte mit kleinen Anpassungen direkt genutzt werden. Der «innere Bereich» des Bohrplatzes müsste teilweise eingeebnet und provisorisch befestigt werden (Betonbelag).

#### **6.6.1 Verkehrstechnische Anbindung**

Die verkehrstechnische Anbindung des Bohrstandortes erfolgt über das vorhandene Strassennetz.

#### **6.6.2 Angaben zum Bohrplatzbau**

Der Bohrplatz wird entsprechend der Standfestigkeit des Untergrundes und den Anforderungen des ausgewählten Bohrgerätes erstellt. Gegebenenfalls sind hierbei zusätzliche Gründungsmaßnahmen im Bereich der Bohranlagenfundamente erforderlich. Während der Bohrphase ist das Befahren mit Servicefahrzeugen und Rettungsfahrzeugen möglich. Der Bohrplatz wird so hergerichtet, dass keine wassergefährdenden Stoffe in den Untergrund gelangen können. Dabei wird sichergestellt, dass eine Befahrbarkeit des Bohrplatzes und der Zufahrt ohne sicherheitstechnische Einschränkungen auch mit Schwerlastfahrzeugen während des Betriebes der Bohrung möglich ist. Der Parkraum für Fahrzeuge (Personal und Besucher) wird ausserhalb des eingezäunten Bohrplatzes angeordnet.

#### **6.6.3 Verkehrs- und Lagerflächen**

Alle Verkehrs -und Lagerflächen bzw. dauerhaft genutzten Flächen werden mit frostsicherem Oberbau mit tragfähigem Planum ausgeführt, sofern nicht schon vorhanden.

#### **6.6.4 Flächenbedarf für den Bohrplatz**

Der gesamte Flächenbedarf für den Bohrplatz einschliesslich Zufahrt beträgt ca. 2.000 bis 2500m<sup>2</sup>.

#### **6.6.5 Bohrkeller**

Für die beiden Bohrkeller ist eine Gründungstiefe von ca. 3.50 m vorgesehen. Falls erforderlich erfolgt unterhalb der Bohrkeller ein Bodenaustausch bis zum tragfähigen Baugrund. Die Bohrkeller werden aus wasserundurchlässigem Stahlbeton ausgeführt. Durch die Bodenplatte der Keller werden die Standrohre geführt.





Abbildung 24: Bohrkeller mit abgesetztem Standrohr

#### 6.6.6 Konzeption des Bohrplatzes

Der Bohrplatz wird hinsichtlich der Nutzungsart verschiedene Bereiche aufgeteilt, diese werden nachfolgend kurz beschrieben:

##### Innerer Bereich (Beton. bzw. Asphaltfläche)

Der innere Bereich besteht im Wesentlichen aus den Teilen

- Bohrturmfundament
- Maschinenfundament
- Bohrgestänge Lager
- Bohrkeller
- Lagerfläche für Container und Spüleinrichtung

Die Auslegung und Gründung des Bohranlagenfundaments erfolgt entsprechend den Erfordernissen der Bohranlage und den Gründungsempfehlungen gem. dem statischen Nachweis des Tragwerksplaners. Der Maschinenbereich, die Generatoren, die Schaltanlage, die Spülpumpen, der Kontrollbereich, das Dieselöllager, das Spülsystem, der Lagerbereich für wassergefährdende Stoffe und das Bohrgestänge Lager sind auf einer Betonbodenplatte oder auf einer asphaltierten Fläche angeordnet.

##### Äusserer Bereich (Umfahrung Bohrplatz)

Der äussere Bereich besteht aus der Umfahrung und umfasst eine Fläche von ca. 500 m<sup>2</sup>. Durch die komplette Umschliessung des inneren Bereiches ist eine Umfahrung des Bohrplatzes möglich. Als Befestigung der Umfahrung ist eine Schottertragschicht auf frostsicherem Aufbau vorgesehen.

Zur Objektsicherung und Schonung umliegender Flächen ist eine Abgrenzung des Bohrplatzes durch einen Bauzaun vorgesehen. An den Zugängen erfolgt die übliche Beschilderung.

### **Schotterfläche/ Lagerfläche**

Neben der äusseren Umfahrung werden Lagerflächen für Rohre, Lager- und Baustellencontainer sowie sonstige Lagerflächen angeordnet.

### **Speicherbecken**

Am Bohrplatz oder auch in der näheren Umgebung wird ein Speicherbecken angeordnet. Je nach Situation und Durchführung von Langzeit-Pumpversuchen kann es sinnvoll sein, ein zweites Becken aufzustellen.

Das kleinere Speicherbecken, welches direkt auf dem Bohrplatz platziert werden sollte, hat eine Grösse von ca. 200 - 400 m<sup>3</sup> und dient zur Entwässerung des Bohrplatzes und als Schlammspeicher. Das grosse Becken (> 1.000 m<sup>3</sup>) würde nur benötigt, wenn Langzeit-Pumpversuche durchgeführt werden. Die Aufstellung des grossen Beckens kann in der näheren Umgebung erfolgen. Durch die Verwendung der Speicherbecken kann deutlich flexibler auf die Trennung von stark und leichter verschmutztem Wasser während der gesamten Arbeiten reagiert werden. Dies dient auch der Einsparung von Entsorgungskosten.

Bei Becken werden in Erdbauweise erstellt und mit einer temperaturbeständigen Abdichtungsplane auf einem Geotextil ausgelegt. Temperaturen von 65°C können ohne weiteres gespeichert werden. Die Verwendung einer speziellen Kühlung vor der Einleitung in die Becken ist somit nicht erforderlich.

Während der Bohrphase kann das Becken zusätzlich als Vorhaltebecken für Frischwasser zur Spülungsanmischung sowie bei etwaigen Spülungsverlusten genutzt werden. Während der Testphase der Bohrungen können beide Becken als Rückhaltung für das geförderte Thermalwassers dienen.

### **Kennzeichnung Fluchtwege**

Es werden an mehreren Stellen am Bauzaun des Bohrplatzes Fluchtwege mit entsprechender Notbeleuchtung installiert.

### **Wasser- und Energieversorgung, Abwasser**

Die Versorgung mit Strom- und Wasser erfolgt über den Anschluss an das vorhandene örtliche Versorgungsnetz.

Der innere Bereich wird am Rand mit einer ca. 6 cm hohen, trapezförmigen Aufkantung aus Asphalt versehen, um etwaige austretende Flüssigkeiten im inneren Bereich zurückzuhalten. Die Entwässerung des inneren Bereiches erfolgt über Strassenabläufe. Transportleitungen führen das anfallende Oberflächenwasser über einen Revisionsschacht in das kleine Speicherbecken ab. Die weitere Ableitung erfolgt in den Schmutzwasserkanal.

Die sonstigen Bereiche umfassen vor allem temporäre Baustelleneinrichtungsflächen (Stellflächen) für Büro-, Sanitär- und sonstige Container sowie eine Lagerfläche für sonstiges Equipment. Das Meteorwasser wird direkt über die Schotterfläche versickert.

## 7 Aufbau der Erdwärmezentrale Magglingen

In der Energiezentrale sind alle technischen Installationen untergebracht, welche zur Nutzung der Erdwärme benötigt werden. In der Zentrale erfolgt die Verbindung des Erdwärmekreislaufs mit dem Fernwärmenetz, inklusive aller notwendigen technischen Installationen.

### 7.1 Tiefenwasser

Das Tiefenwasser wird voraussichtlich eine hohe Mineralisation aufweisen. Aufgrund vergleichbarer Anlagen (Riehen, Schlattigen, Bad Schinznach) wird mit einer Mineralisation von etwa 10 – 30 g/l gerechnet und dabei auch mit Anteilen von Chloriden und eventuell auch mit einer geringen Schwefel-Wasserstoff-Konzentration. Dadurch ist in diesem System mit Korrosion und mit einem signifikanten Eisenabtrag zu rechnen. Der Eisenabtrag findet im Wesentlichen an der Brunnenverrohrung statt, da die obertägigen Installationen aus nicht korrosivem Material (GFK) oder aus sehr korrosionsbeständigem Stahl (zum Beispiel 1.4539) gefertigt sind. Es wird ausserdem erwartet, dass im Wasser Gase (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> und weitere) enthalten sind, welche möglichst während des gesamten Prozesses im Wasser gelöst bleiben sollten, um so den technischen Nutzungsprozess (Wärmeentzug) nicht zu beeinträchtigen.

### 7.2 Technische Installationen Primärkreis

Die Anlage zur thermischen Nutzung der Erdwärme wird primär geprägt durch die Installationen des Primärkreislaufs. Dieser Anlagebereich umfasst alle Installationen und Bauteile, welche direkt mit dem Tiefenwasser in Berührung sind. Die Auswahl des Materials im Primärkreis ist wegen der zu erwartenden starken Korrosivität des Wassers von zentraler Bedeutung.

Die Planung der Anlage beruht auf den Auslegungen und Vorgaben der Geologie. Die erwartete Nennleistung, Temperatur, Wirkungsgrad etc werden anhand dieser Vorgaben in einer «Bandbreite», die technisch realisierbar ist dimensioniert. Die Auslegung der Hauptkomponenten wird ebenfalls vorab durchgeführt, da diese teilweise erhebliche Lieferzeiten haben. Im Einzelfall müssen verschiedene Auslegungen von Anlageteilen nach Abschluss der Bohr- und Testarbeiten wieder angepasst werden.

Im Wesentlichen umfasst dieser Anlagebereich:

#### **Tiefenwasserpumpe**

Mit der Tiefenwasserpumpe, welche meist als Tauchkreiselpumpe ausgeführt und in der Förderbohrung eingebaut ist, wird das Tiefenwasser vom Brunnen über ein Rohrleitungssystem zur Wärmenutzung transportiert. Nach der Abkühlung im Wärmetauscher, wird das Wasser an den Rückgabebrunnen geleitet. Je nach hydraulischen Bedingungen, benötigt es dazu eine weitere Pumpe, die Rückgabe- oder

Förderpumpen gehören in Geothermieranlagen zu den am stärksten beanspruchten Anlageteilen. Defekte und Ausfälle von Pumpen führen zu längeren, ungeplanten Ausfällen der gesamten Anlage, was wiederum entsprechende Kosten verursacht. Als Pumpen werden hauptsächlich **Tauchkreiselpumpen** (TKP) eingesetzt. Bei diesem Typ sind Pumpe und Motor in einer Einheit zusammengebaut und direkt im Geothermiefluid, meist in grosser Tiefe, im Entnahmebrunnen installiert. Das bedeutet, dass diese Pumpen unter sehr schwierigen Bedingungen betrieben werden. Meist besteht im Geothermiewasser eine korrosive

Umgebung, erhöhte Temperatur und oftmals noch Gase oder Schwebeteilchen. Bei der Tauchkreiselpumpe muss ausserdem noch die Abwärme des Motors an das ohnehin schon warme Wasser abgegeben werden, was zu weiteren Komplikationen führen kann. Die Motoren sind wegen des kleinen Durchmessers und der grossen Kabellänge meist als Mittelspannungs-Motoren mit einer Nennspannung von 1000 bis 6000 V gebaut. Die Zuleitungskabel müssen den oben genannten Bedingungen ebenfalls standhalten.

Als Alternative dazu werden seit einiger Zeit auch **Gestängepumpen** eingesetzt. Bei diesem Pumpentyp ist die Pumpe, wie bei der Tauchkreiselpumpe auch, in der Bohrung eingebaut – jedoch befindet sich der Motor «über Tage» und kann bei normalen Betriebsbedingungen betrieben und gewartet werden. Die technische Herausforderung bei der Gestängepumpe ist – wie der Name schon sagt – das Gestänge selbst. Der obertägig montierte Motor treibt über ein langes Gestänge (je nach Pumpeneinbau mehrere hundert Meter) die Kreiselpumpe an. Hierbei müssen mehrere Lager dafür sorgen, dass keine unzulässigen Schwingungen auf die Pumpe wirken und die Antriebskraft trotzdem übertragen werden kann. Eine Gestängepumpe sollte möglichst kontinuierlich betrieben werden, da das Anfahren der Pumpe aufgrund der Längenausdehnung der Welle sehr vorsichtig erfolgen muss. Ausserdem ist bei einer Reparatur der Pumpe ein grosser Aufwand für den Aus- und Einbau der Welle einzurechnen.



Abbildung 25: Gestängepumpe (hier mit kurzer Welle)

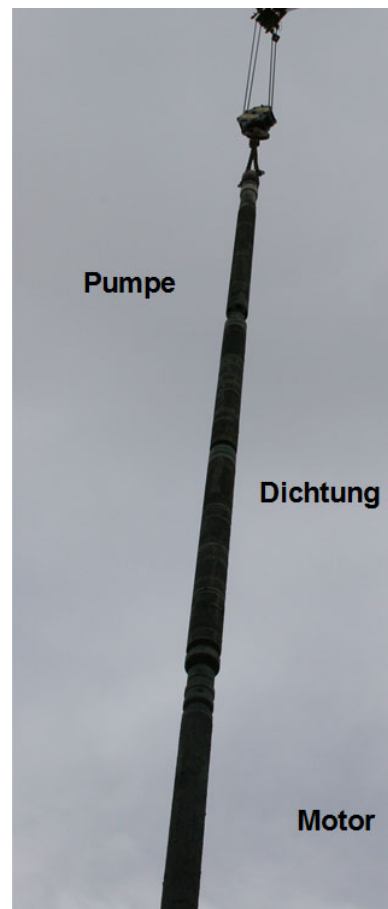


Abbildung 26: Tauchkreiselpumpe



## **Rohrleitungen, Sicherheitseinrichtungen**

Durch die Rohrleitungen wird das Geothermiewasser zwischen den Brunnen zu den technischen Anlagen transportiert, in denen die Wärme an die Umwandlungssysteme abgegeben wird. Die Rohrleitungen und Wärmetauscher trennen das Tiefenwasser vom Fernwärmewasser. Dadurch kann – hinter dem Wärmetauscher – das gesamte Fernwärmenetz und die Kundenanlagen in «Standard-Technik» gebaut werden. Das Erdwärme-Rohrsystem muss jedoch auf die speziellen Bedingungen des Tiefenwassers ausgelegt sein. Das betrifft wegen der Korrosivität des Wassers in erster Linie die Materialwahl der Rohre, Armaturen und Sicherheitseinrichtungen. Hier werden in der Regel entweder hochlegierte Stähle, Titan oder Kunststoff (GFK) eingesetzt. Da der Geothermiekreis durch Wärmetauscher vom Fernwärmekreis getrennt ist, muss dieser mit entsprechenden Sicherheitseinrichtungen (Sicherheitsventile, Absperrarmaturen, etc.) ausgerüstet sein. Der Primärkreis ist im Prinzip ein «offenes System» und benötigt deshalb keine Expansionsanlage. Jedoch muss beim Stillstand der Tiefenwasserpumpen zwingend der Druck im System gehalten werden, um Ausgasungen, Scaling und Korrosion soweit möglich zu verhindern. Dazu wird eine selbsttätige Druckhalteanlage installiert, die bei Stillstand der Geothermie und langsamen Abkühlen des Wassers den Druck konstant hält.

## **Filter**

Im Geothermiewasser befinden sich immer Partikel, die sowohl für die technischen Anlagenteile als auch für die Geothermiebrunnen problematisch sein können. Die Filteranlagen dienen dazu diese Partikel soweit möglich aus der Anlage zu entfernen. Hierzu werden zwei Filtersysteme eingesetzt:

Der Primärfilter reinigt das Wasser unmittelbar nach dem Austritt aus dem Brunnen. Damit wird die gesamte technische Einrichtung (Rohrleitungen, Wärmetauscher, ...) vor Verschmutzung gesichert.

Der Sekundärfilter wird «hinter» den technischen Installationen, unmittelbar vor dem Rückgabebrunnen installiert und schützt so den Brunnen, beziehungsweise den Aquifer im Untergrund vor einer langsamen «Verstopfung». Dieser ist optional und kann auch später nachgerüstet werden.

Als Filtertypen können Korb- oder Kerzenfilter, aber auch sogenannte «Jet-Filter» eingesetzt werden. Die Auswahl des Filtertyps hängt ab von den zu verwendenden Materialien bezüglich Korrosion, Temperatur und Druck, aber auch von den Aufwendungen für Betrieb und Unterhalt.



Abbildung 28: Geothermiefilter, Kerzen- und Korbfilter

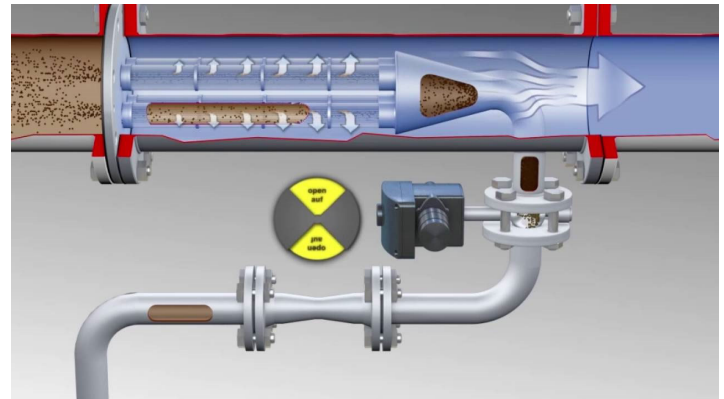


Abbildung 27: Geothermiefilter, Jet-Filter

## Wärmetauscher

Die Wärmeerzeugungsanlagen sowie das Fernwärmenetz und die Kundenanlagen sollen möglichst effizient, zweckmässig und kostenoptimiert gebaut werden. Ein Betrieb der Anlagen direkt mit Tiefenwasser ist wegen der problematischen Eigenschaften des Wassers (Korrosion, Ausgasungen, Scaling) nicht möglich. Die Wasserkreisläufe werden deshalb mit Wärmetauschern hydraulisch getrennt. Prinzipiell können dafür Platten- oder Rohrbündel-Wärmetauscher dafür eingesetzt werden. Plattenwärmetauscher weisen eine hohe Leistungsdichte auf (sind «klein») und können wegen der kleineren Bauweise eher mit hochwertigen Materialien wie Titan gebaut werden.

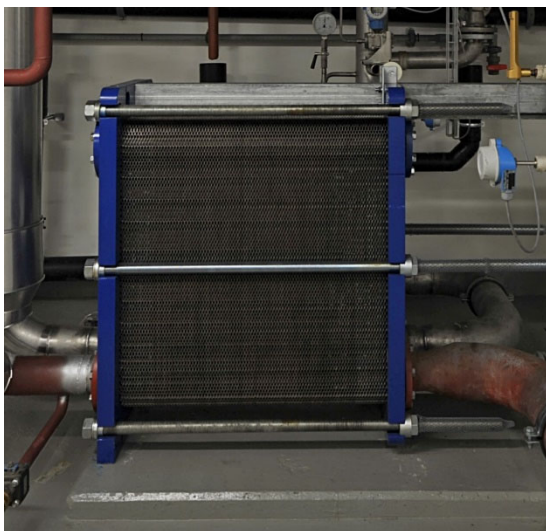


Abbildung 30: Geothermie-Wärmetauscher, Plattenwärmetauscher



Abbildung 29: Geothermie-Wärmetauscher, Rohrbündel-WT

Die Energie aus der Erdwärme soll in der nachgeschalteten Anlage möglichst effizient in das Wärmenetz eingespeist werden. Dazu wird die Wärme über einen oder mehrere Wärmetauscher an den Rücklauf des Wärmenetzes übertragen. Das Tiefenwasser wird dabei auf eine Temperatur, die möglichst nahe an der Rücklauftemperatur liegt, abgekühlt. Um die noch im Tiefenwasser befindliche Wärme so weit wie möglich auszunutzen wird das Wasser im Wärmenetz so weit wie möglich abgekühlt. Diese Abkühlung erfolgt entweder über Niedertemperaturheizungen (bei Neubauten) oder mittels Wärmepumpe (bei bestehenden Gebäuden) auf etwa 25°C.

Eine mögliche Einbindung in das bestehende System der Erdwärme Magglingen ist unten abgebildet.

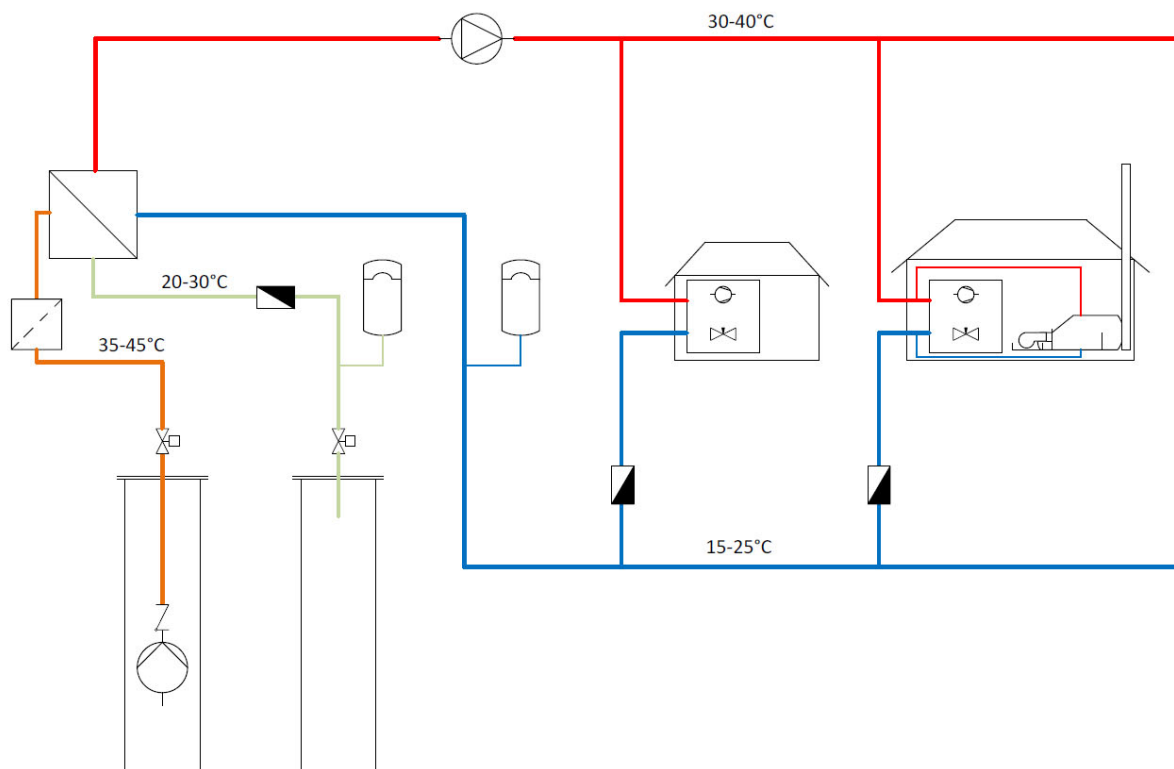


Abbildung 31: Schema Primärkreislauf und Wärmenutzung Erdwärme Magglingen

### 7.3 Technische Einbindung in das Nahwärmenetz

Die Wärmenutzung der Erdwärme findet in der Erdwärmezentrale, voraussichtlich im Bereich des Parkplatzes bei der Werkstatt statt. Die Anlage liegt somit sehr zentral für das Nahwärmenetz der BASPO-Liegenschaften in Magglingen.

Für die Wärmeerzeugung während Revisionsarbeiten oder bei Störungen an der Erdwärmezentrale wird eine heizölbefeuerte Kesselanlage eingesetzt. Hier ist sowohl eine zentrale Variante, mit der Installation eines Ölkessels in der Erdwärmezentrale, aber auch eine

dezentrale Lösung mit der Nutzung von vorhandenen Ölkesselanlagen möglich. Diese Ölkessel müssen dann aber noch in das neue Nahwärmenetz eingebunden werden und sind ausserdem in naher Zukunft zu ersetzen, da hier bei den meisten bestehenden Anlagen eine Erneuerung ansteht.

Die Wärme aus der Zentrale wird mit Netzpumpen über das Wärmenetz zu den Kunden (Wärmeverbrauchern) transportiert. In der Energiezentrale ist neben den Wärmeerzeugern auch die Druckhalte- und Expansionsanlage des Wärmenetzes installiert.

Die technische Auslegung wärmeseitig bezüglich Temperatur und Druck der Anlage wird gemäss den technischen Anschlussbedingungen (TAB) durchgeführt.

## 7.4 Standort und Einbindung in das Fernwärmenetz

Aufgrund der geodätischen Randbedingungen sollte die Energiezentrale für das Wärmenetz idealerweise im Bereich Werkstatt – Alte Halle – Hochschule Lärchenplatz liegen. Damit kann das Wärmenetz und die technischen Installationen in der kostengünstigen Druckstufe PN 6 oder auch PN 16 gebaut werden. Falls die Zentrale nicht in diesem Bereich gebaut werden kann müsste für das Netz und die Energiezentrale auf die aufwändigere Druckstufe von bis zu PN 25 erweitert werden.

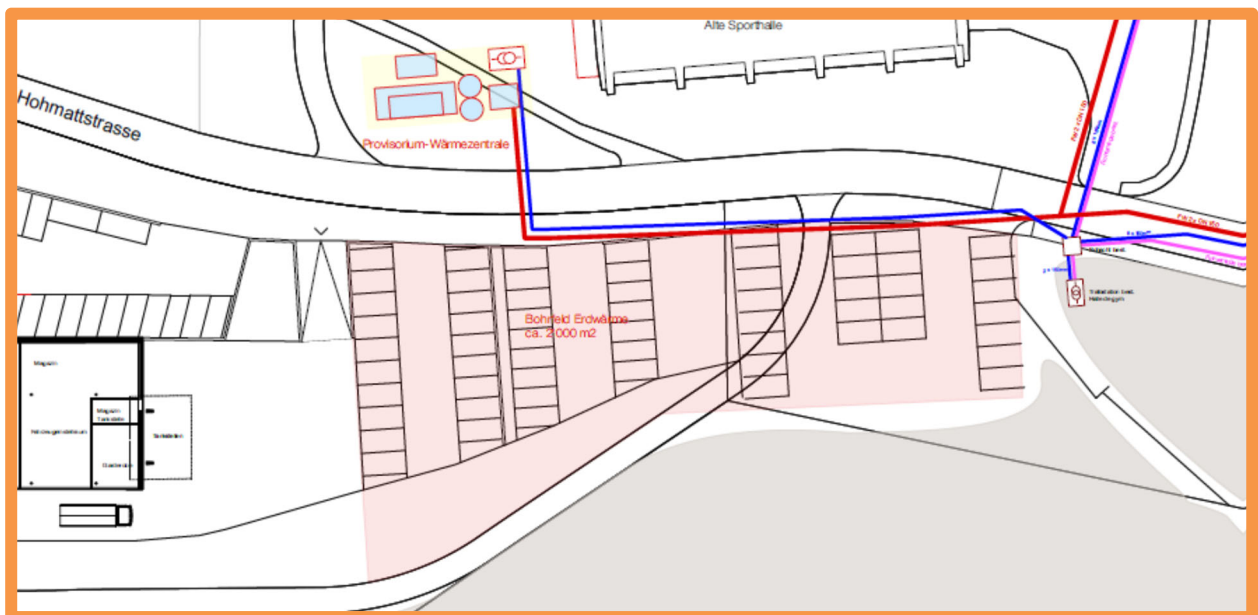


Abbildung 32: Übersichtsplan Bohrplatz und Provisorium Erdwärme Magglingen

Zum heutigen Zeitpunkt ist der Parkplatz vor der Werkstatt der ideale Bohrstandort. Geologisch sollte dieser Bereich für die Erdwärmenutzung gut geeignet sein. Die zur Verfügung stehende Fläche beträgt mehr als 2000m² und ist bereits befestigt. Der Parkplatz müsste vorübergehend an einen anderen Standort verschoben werden.

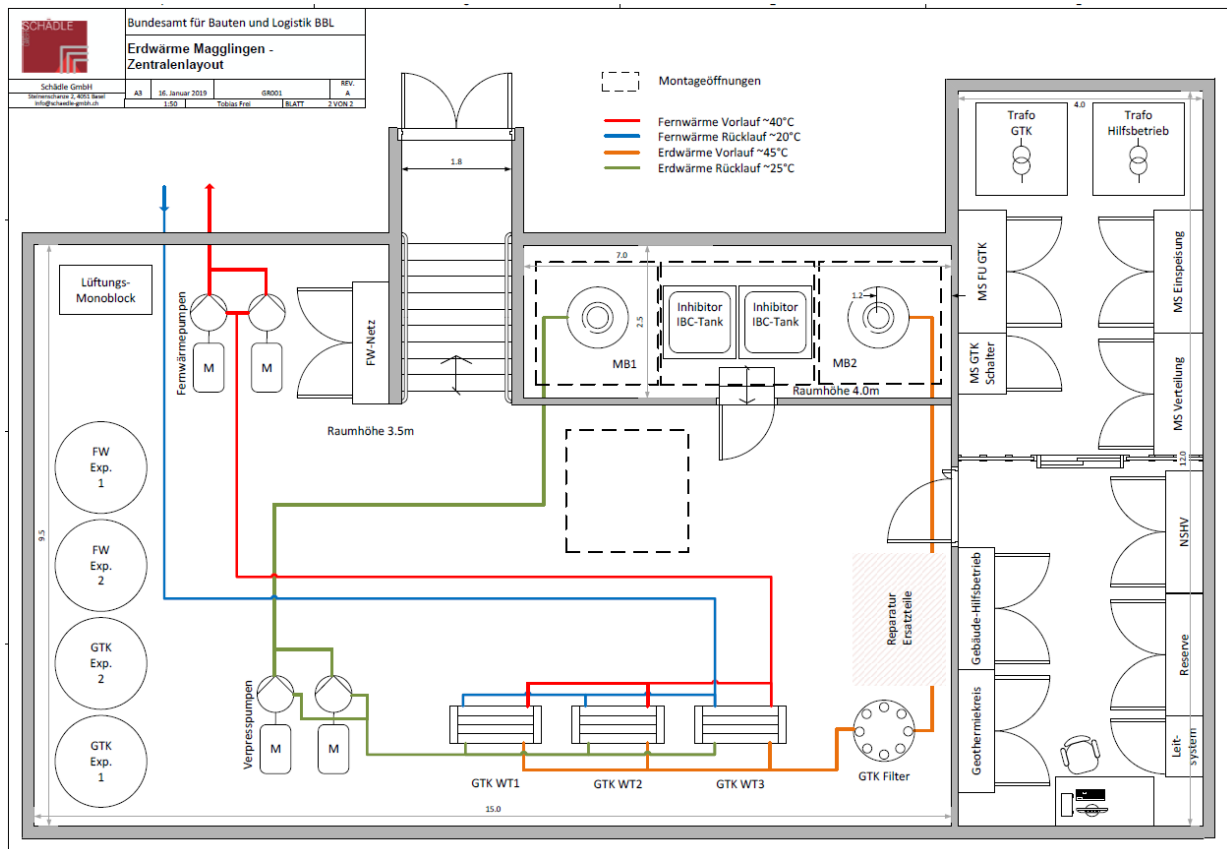
## 7.5 Platzbedarf Erdwärme-Energiezentrale Magglingen

Die Bohrkeller müssen zwingend von oben her zugänglich sein. Dies für Wartungs- und Reparaturarbeiten an den Tiefenbohrungen und Förderpumpe. Weiter ist zu empfehlen, dass



die Energiezentrale und der Bohrkeller möglichst nahe bei einander liegen. Dies für die Vereinfachung der Betriebsführung und Minimierung der Verluste (Druck und Wärme).

Die notwendigen Installationen wurden im Kapitel 8.4 bereits beschrieben. Ein mögliches prinzipielles Anlagelayout ist unten abgebildet. Bei diesem Layout ist die Var1, ohne Reserve-Ölkessel dargestellt.



**Abbildung 33: Layout Erdwärme-Energiezentrale (ohne Reserve-Ölkessel)**

Für die Erdwärme-Energiezentrale wurden zwei Layout-Varianten in der Nähe des (vorläufig) gewählten Standortes ausgearbeitet.

### Variante 1: Erdwärmezentrale mit dezentralem Reserve-Ölkessel

Bei dieser Variante wird die Energiezentrale als unterirdische Zentrale direkt unter dem Bohrplatz gebaut. Der Bohrkeller mit den beiden Brunnenköpfen ist in die Energiezentrale mit integriert. Somit sind alle notwendigen Installationen zur Nutzung der Erdwärme in einem Gebäude integriert. Die für Service- und Reparaturarbeiten an der Erdwärmeanlage notwendigen Ölkesselanlagen werden dezentral aufgestellt. Dabei können auch bestehende Anlagen, zum Beispiel in der «Alten Halle» weiterverwendet werden. Bei diesen dezentralen Anlagen muss dann noch eine zusätzliche Netzpumpengruppe installiert werden, welche die Wärme aus dem Heizkessel in das Wärmenetz abgibt.

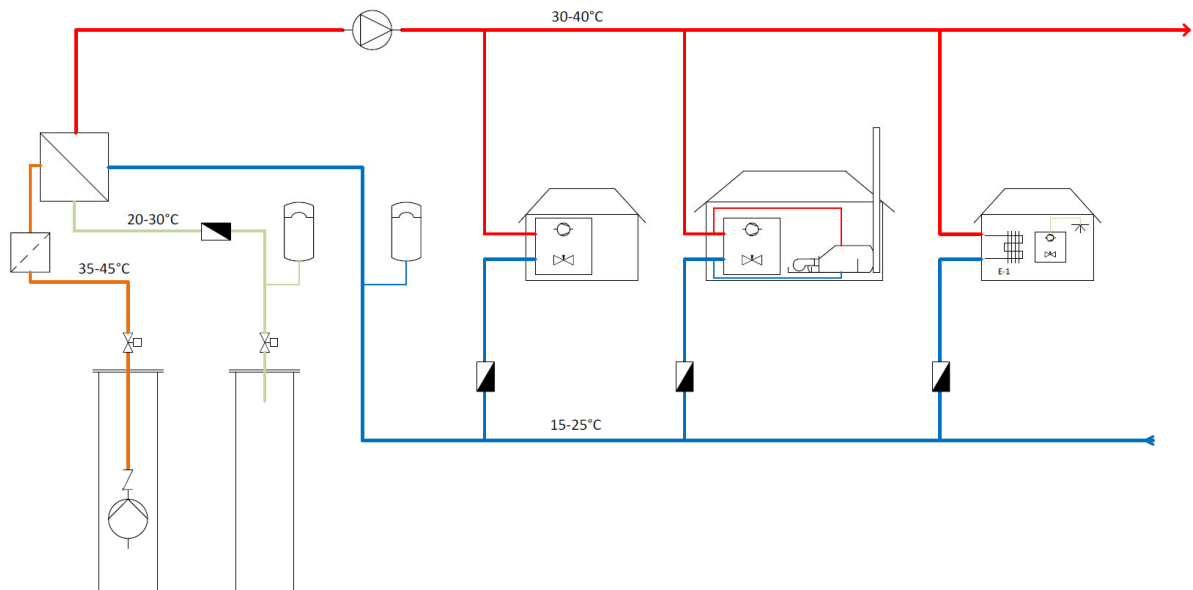


Abbildung 34: Prinzipschaltbild mit dezentralem Redundanzkessel (Var 1)

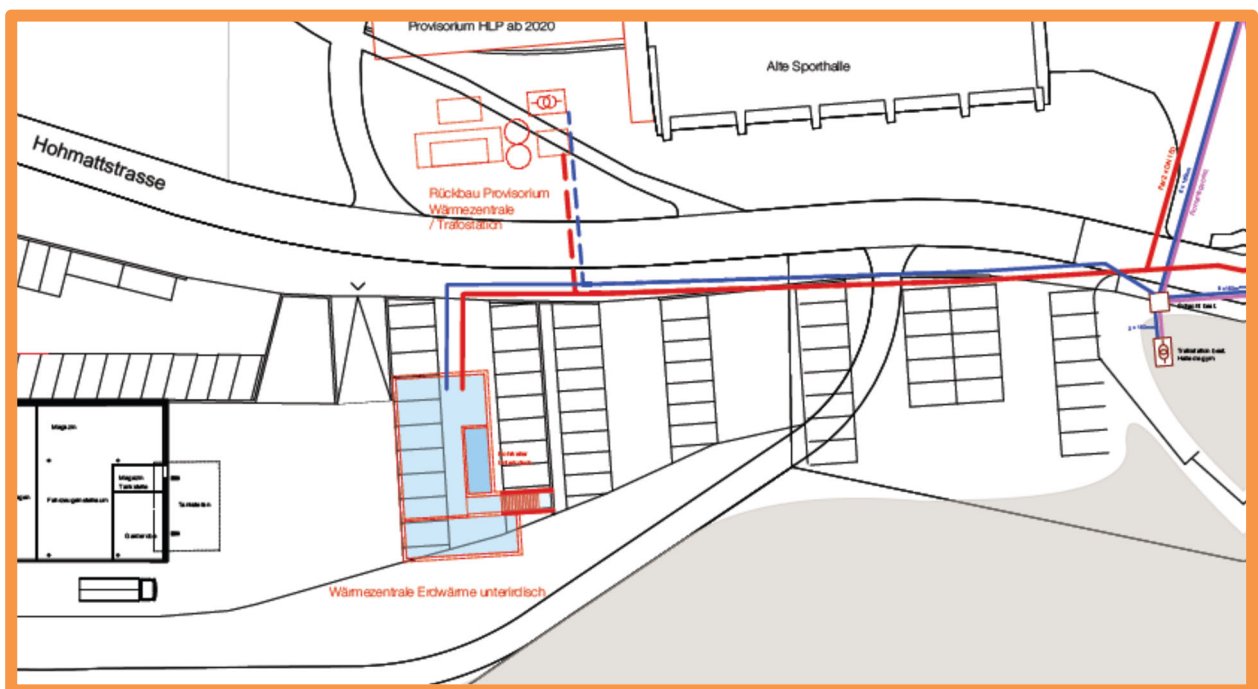


Abbildung 35: Situation Erdwärme-Zentrale mit dezentralem Reserve-Ölkessel (Var 1)

Im nächsten Bild ist im Schnitt gut zu sehen, dass die Energiezentrale unterirdisch gebaut ist.



Abbildung 36: Variante 1: Schnittplan / Erdwärme-Energiezentrale (ohne Reserve-Ölkessel)

### Variante 2: Erdwärmezentrale mit integriertem Reserve-Ölkessel

Bei dieser Variante wird die Energiezentrale als oberirdische Zentrale am bestehenden Gebäude angebaut. Lediglich der Bohrkeller ist unter dem Parkplatz gebaut. Der Bohrkeller mit den beiden Brunnenköpfen ist mit den Erdwärmeleitungen mit der Energiezentrale verbunden. Alle weiteren Installationen zur Nutzung der Erdwärme und der Reserve-Ölkessel sind im Gebäude integriert.

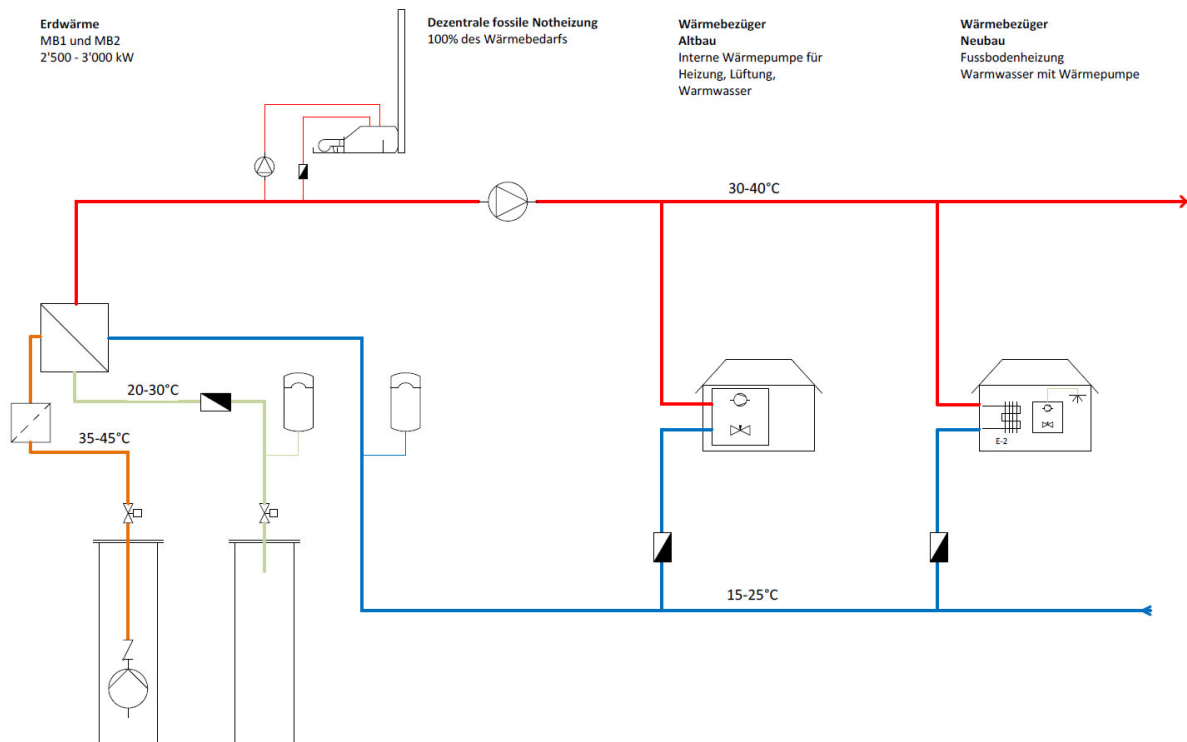


Abbildung 37: Prinzipschaltbild mit zentralem Redundanzkessel (Variante 2)

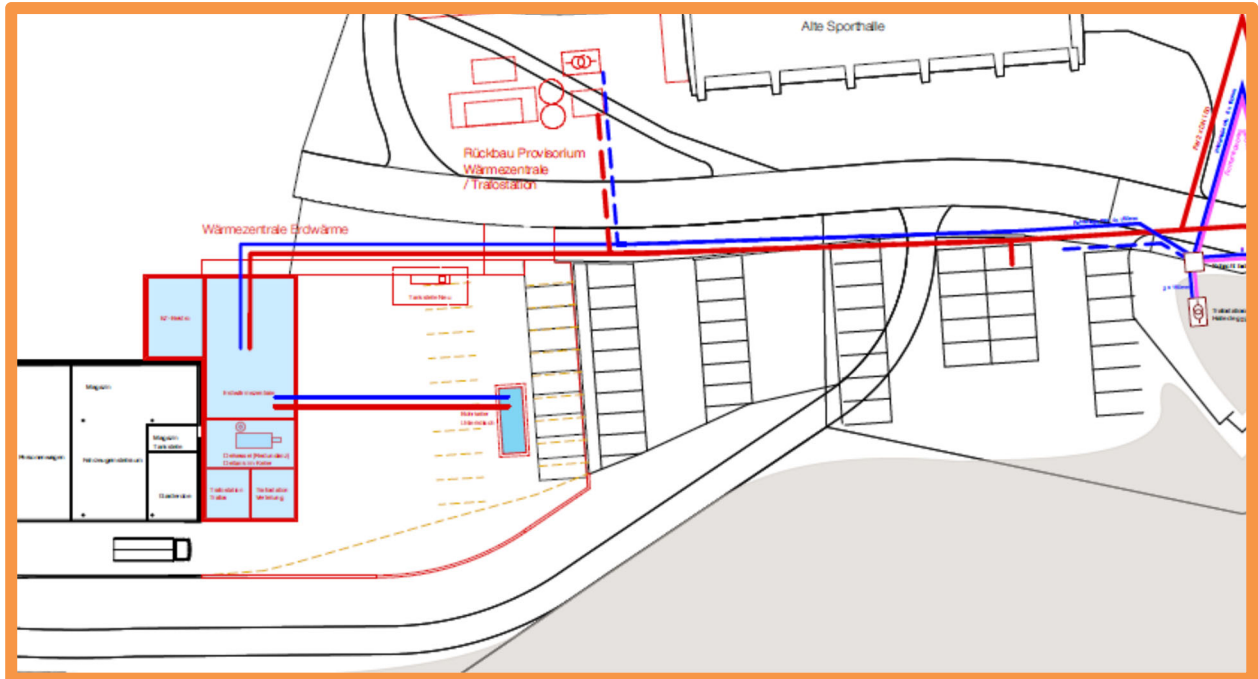


Abbildung 38: Situation Erdwärme-Zentrale mit integriertem Reserve-Ölkessel (Var 2)

Erdwärme-Energiezentrale und Bohrkeller im Schnittbild. Es ist zu erkennen, dass der Bohrkeller unterirdisch mit der oberirdischen Energiezentrale verbunden ist.

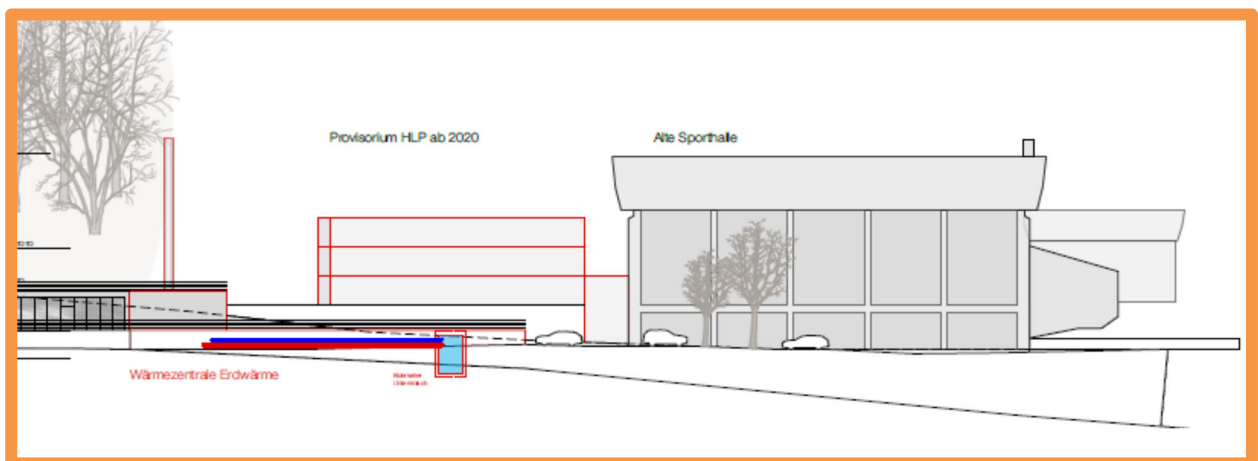


Abbildung 39: Schnittplan Zentrale mit integriertem Reserve-Ölkessel und Bohrkeller

## 7.6 Mögliche Risiken mit Scaling und natürlicher Radioaktivität

Der Umgang und das Handling mit den Besonderheiten von Erdwärmeanlagen erfordern Fachwissen, ein interdisziplinäres Denken, Flexibilität bei neuen Problemen und ein zielgerichtetes Vorgehen bei der Lösung der anstehenden Aufgaben. Oft fehlt es an Erfahrungswerten, da meist jede neue Anlage ein «Unikat» ist. Nichtsdestotrotz gibt es einige Dinge, die schon im Vorfeld und später auch bei der Planung, beim Bau und Betrieb beachtet werden können und müssen.



Über die Tiefenwasserpumpen wurde bereits im vorgehenden Kapitel berichtet. Bei dieser Thematik liegen technisch sicherlich die grösste Herausforderung und auch das grösste Risiko für einen sicheren und stabilen Anlagebetrieb.

Neben der technischen Herausforderung der Tiefenwasserpumpen ist ein zentrales Problem der Umgang mit Scaling und Korrosion. Schon in der ersten Projektphase sollten auch Strategien entwickelt werden, um mit dem Thermalwasser so umzugehen, dass es zu keinen schädigenden Ausfällungen (Sinter, Scaling) oder Korrosion an den Anlagenteilen kommt. Ausserdem ist in dieser Phase ein Konzept für die Entsorgung von Fluiden, Feststoffen, evtl. NORM-Abfällen («naturally occurring radioactive material») und Oberflächenwasser zu erstellen.

Grundsätzlich muss das Tiefenwasser Übertage in einem geschlossenen (gasdichten) Leitungssystem zirkulieren. Denn falls Gase zu- oder austreten, ist fast immer mit Ausfällungen (Scaling) zu rechnen. Unabhängig davon verändern sich die Druck- und Temperaturbedingungen der heissen Tiefenwässer, wenn sie an die Erdoberfläche gepumpt werden und ihnen dort die Temperatur entzogen wird. Dadurch ändert sich der Sättigungszustand dieser Wässer bezüglich verschiedener Minerale und es kann so zu Übersättigungen mit der Folge von Mineralausfällungen kommen. Das ist ein natürlicher Vorgang, der auch aus dem Bäderwesen bekannt ist. Es gibt eine Reihe von Berechnungs- und Simulations-Programmen, mit denen dieser Vorgang untersucht und damit prognostiziert werden kann.

Je nach Wasserbeschaffenheit kann es beispielsweise zur Vermeidung von Scaling ausreichend sein, wenn der Druck im übertägigen Anlagensystem einen bestimmten Wert nicht unterschreitet. Zusätzlich zu den theoretischen Überlegungen können auch Untersuchungen im Labor stattfinden, bei denen getestet wird, mit welchen Zusatzstoffen (Inhibitoren) die Sinterbildung unterbunden werden kann. So wird beispielsweise dem Thermalwasser der geothermischen Heizanlagen im Pariser Becken ein Inhibitor bereits im Aquifer in der Förderbohrung zugegeben. Der Einsatz von Inhibitoren ist zulassungspflichtig.

Natürliche Radionuklide können prinzipiell in allen Tiefenwässern vorliegen. Die Aktivitätskonzentrationen weichen jedoch in Abhängigkeit von der Geologie des Aquifers stark voneinander ab und sind im granitischen Milieu in der Regel wesentlich höher als in sedimentären Aquiferen. Die Werte sind im Wasser grundsätzlich sehr niedrig. Zudem können die Thermalwässer toxische und kanzerogene Elemente wie Arsen, Cadmium, Blei u. ä. enthalten.

Bei geothermischen Anlagen, die im Dubletten-Betrieb gefahren werden, ist das Risiko, dass belastete Stoffe an die Erdoberfläche gelangen, niedrig, da das Tiefenwasser in einem übertägig geschlossenen Kreislauf gefahren und über die Injektionsbohrung wieder in den tiefen Untergrund, aus dem das Thermalwasser gefördert wurde, zurückgebracht wird. Allerdings können in ausgeschiedenen Mineralphasen (Scales) Radionuklide zum Teil eingebunden und sogar angereichert sein. Deshalb ist Vorsicht beim Umgang mit Bauteilen geboten, auf denen sich Scales gebildet haben. Trotz Vermeidungsstrategie zur Bildung von Scales kann diese nicht völlig ausgeschlossen werden, insbesondere nicht in Wärmetauschern oder Pumpen. Sinterablagerungen ist daher grundsätzlich erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken und ausgetauschte Bauteile sollten sicherheitshalber untersucht und gegebenenfalls entsprechend fachtechnisch behandelt werden.

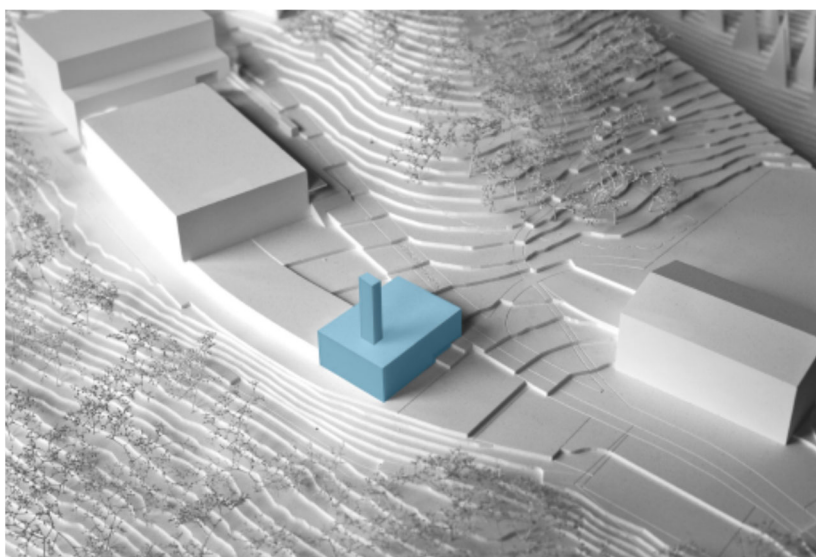
## 8 Plan B wie Biomasse-Energiezentrale

Die Erdwärmenutzung zur Wärmeversorgung der BASPO-Liegenschaften in Magglingen ist das Ziel des Gesamtprojektes. Die Erdwärmenutzung ist jedoch stets mit Risiken verbunden. Deshalb sind für das Erdwärmeprojekt an verschiedenen Meilensteinen Abbruchkriterien definiert, an denen die Bauherrschaft aufgrund von festgelegten Bedingungen über die weitere Entwicklung des Projektes entscheidet.

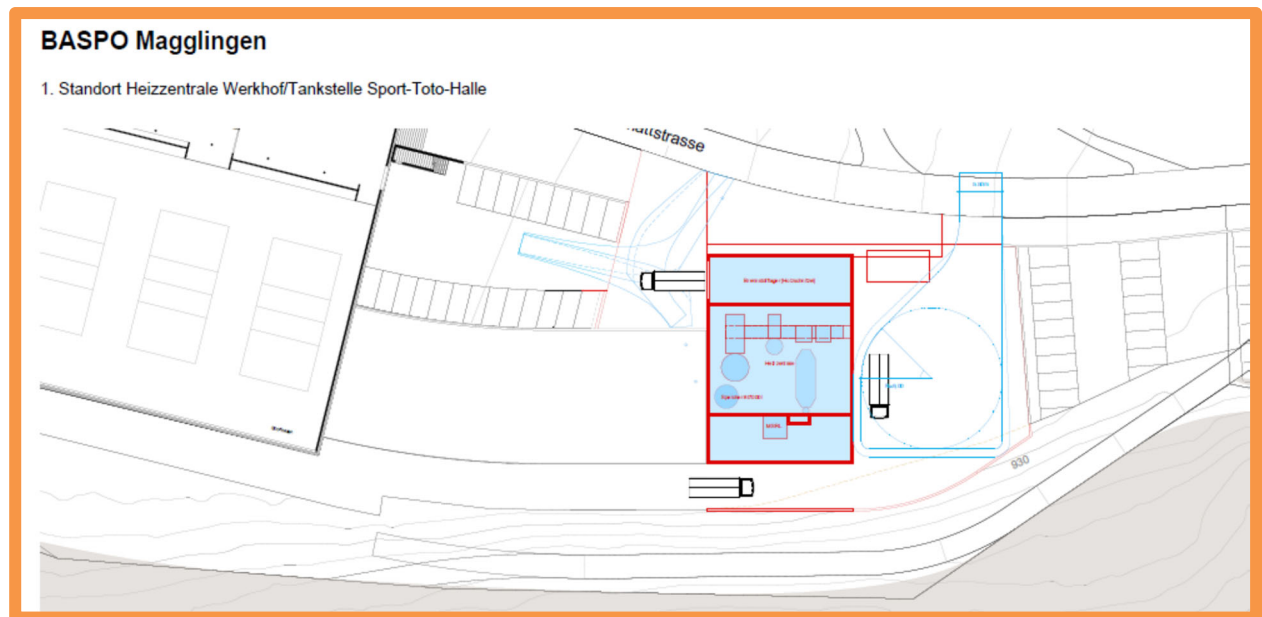
Sollte es zu einem Projektabbruch kommen müssen die Gebäude trotzdem mit erneuerbarer Wärme versorgt werden können. Hierzu wurde ein Projekt mit einer Biomasse-Energiezentrale entwickelt. Diese Zentrale würde die Wärmeversorgung des Wärmenetzes anstelle der Erdwärme übernehmen.

Da eine Biomassezentrale grundsätzlich mit höheren Temperaturen betrieben wird, würde die Vorlauftemperatur des Wärmenetzes ebenfalls angehoben werden und das Wärmenetz mit einer Temperatur von 70/50 °C (eventuell auch 70/45°C) anstelle von 45/25 °C bei Erdwärmenutzung betrieben werden. Die Netzdimensionierung bleibt jedoch bestehen, da bei der Variante mit Erdwärmenutzung aufgrund den dezentral installierten Wärmepumpen die durch das Netz übertragende Wärmeleistung sinkt und so auch bei kleinerer Temperaturdifferenz ausreichend Wärme übertragen werden kann.

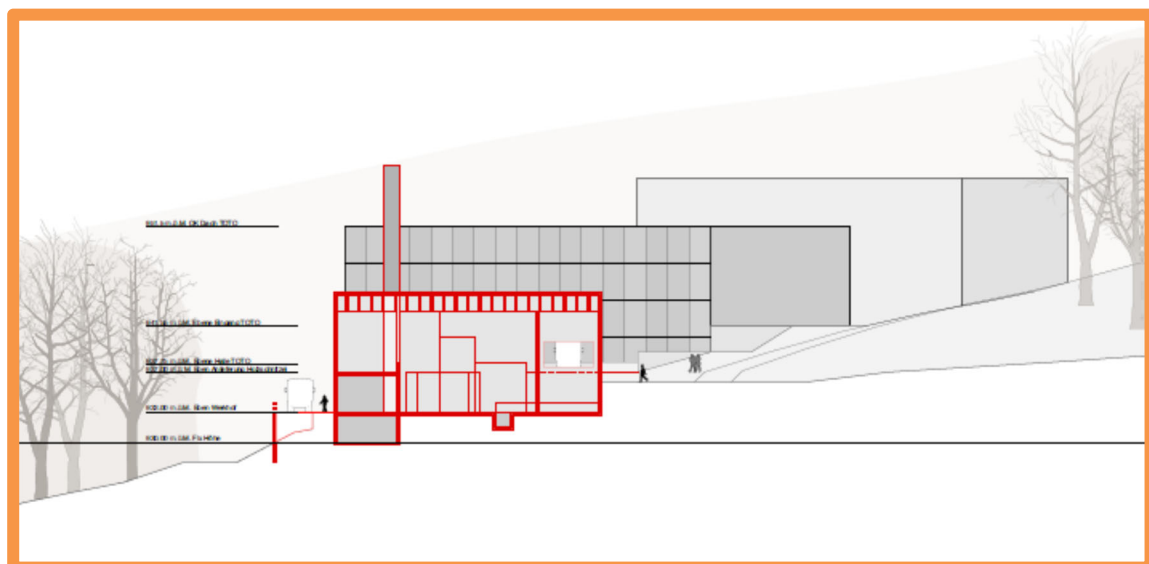
Für den Bau der Biomassezentrale wurde eine separate Standortstudie durchgeführt. Als bester Standort wurde, ähnlich wie bei der Erdwärmezentrale, der Bereich vor der Werkstatt ermittelt.



**Abbildung 40: Modell Biomasse-Energiezentrale**



**Abbildung 41: Situation Biomasse-Energiezentrale «Werkhof»**



**Abbildung 42: Schnitt Biomasse-Energiezentrale «Werkhof»**

Die Biomasse-Zentrale ist so ausgelegt, dass die gesamte Versorgung des Wärmenetzes mit lokalen Holzhackschnitzeln erfolgen kann. In der Zentrale ist neben der Holzfeuerung mit einer thermischen Leistung von 5000 kW und der Rauchgasreinigung ein Brennstofflager mit einer Kapazität von 5 Volllast-Betriebstagen enthalten. Integriert ist ebenso ein Wärmespeicher und die Reservezentrale mit einem Ölkessel. Darüber hinaus wird in dieser Zentrale eine neue Trafostation für die Infrastruktur des Gesamtareals integriert.

## 9 Fernwärmenetzbau

Das Wärmenetz transportiert die in der Energiezentrale erzeugte Wärme zu den Kunden. Als Rohrsystem werden Kunststoffmantelrohre verwendet. Dabei handelt es sich um Stahlrohre mit einer vorgefertigten Polyurethan-Wärmedämmung und Kunststoffmantel als Schutz vor mechanischen Beeinflussungen. Im PU-Schaum ist noch ein Lecküberwachungsdraht integriert mit dessen Hilfe im Schadenfall eine Undichtigkeit (Leck) im Rohrsystem centimetergenau lokalisiert werden kann. Die Rohre werden als Vor- und Rücklaufleitung in einem Graben verlegt.

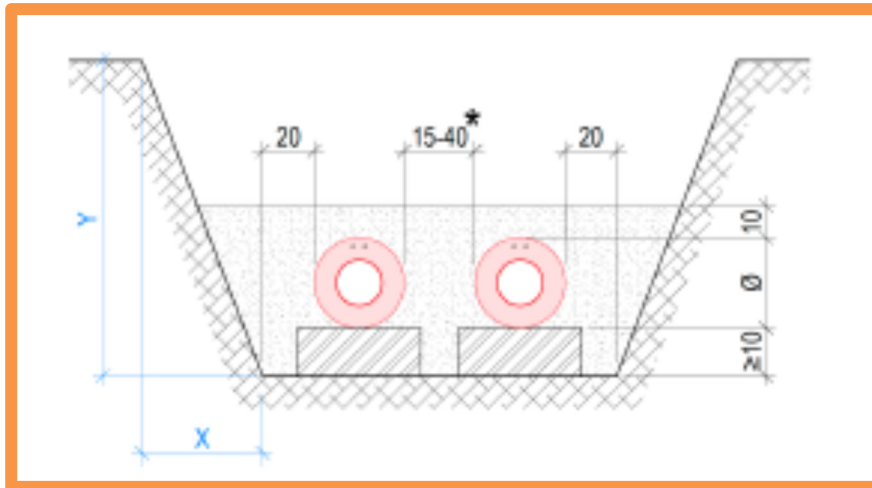


Abbildung 43: Grabenprofil des Wärmenetzes

Zum heutigen Zeitpunkt ist noch nicht bekannt ob und mit welcher Temperatur das Tiefenwasser gefördert werden kann. Die nutzbaren Temperaturen können deshalb auch noch nicht definiert werden. Das Netz soll als «Niedertemperaturnetz» aufgebaut werden. Das bedeutet, dass die bestehenden Gebäude die Wärme des Netzes als Wärmequelle für eine Wärmepumpe nutzen, welche dann die notwendige Energie zum Heizen und für die Brauchwarmwassererzeugung bereitstellt. Bei Neubauten kann die Temperatur des Netzes direkt zum Heizen verwendet werden. Zur Brauchwarmwassererzeugung muss ebenfalls eine Wärmepumpe eingesetzt werden.



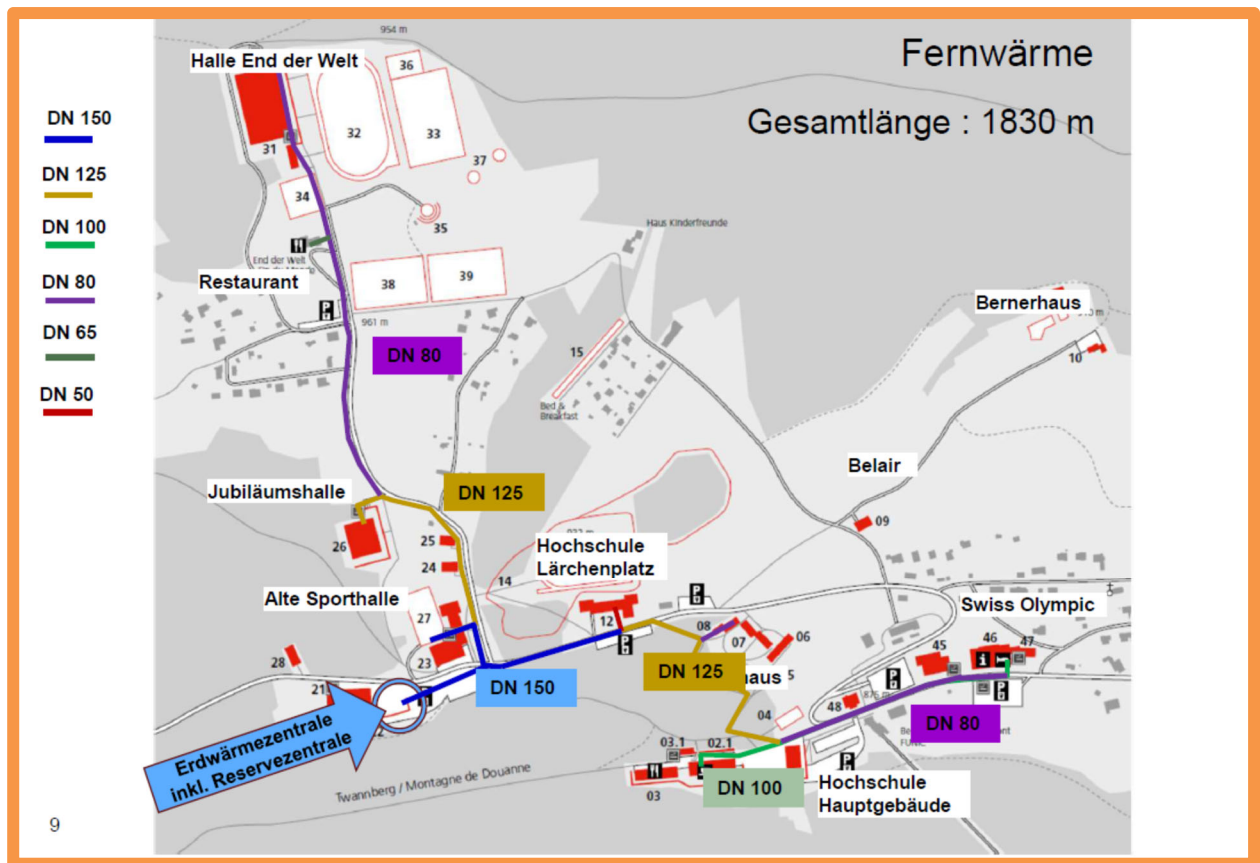


Abbildung 44: Dimensionierung des Wärmenetzes

Das Wärmenetz wird in 2 Bauetappen ausgeführt. In Etappe 1 wird der nördliche Netast von der Hochschule Lärchenplatz bis zum «End der Welt» gebaut. An diesem Netast ist sowohl die provisorische Energiezentrale, als auch die definitive Energiezentrale angeschlossen.

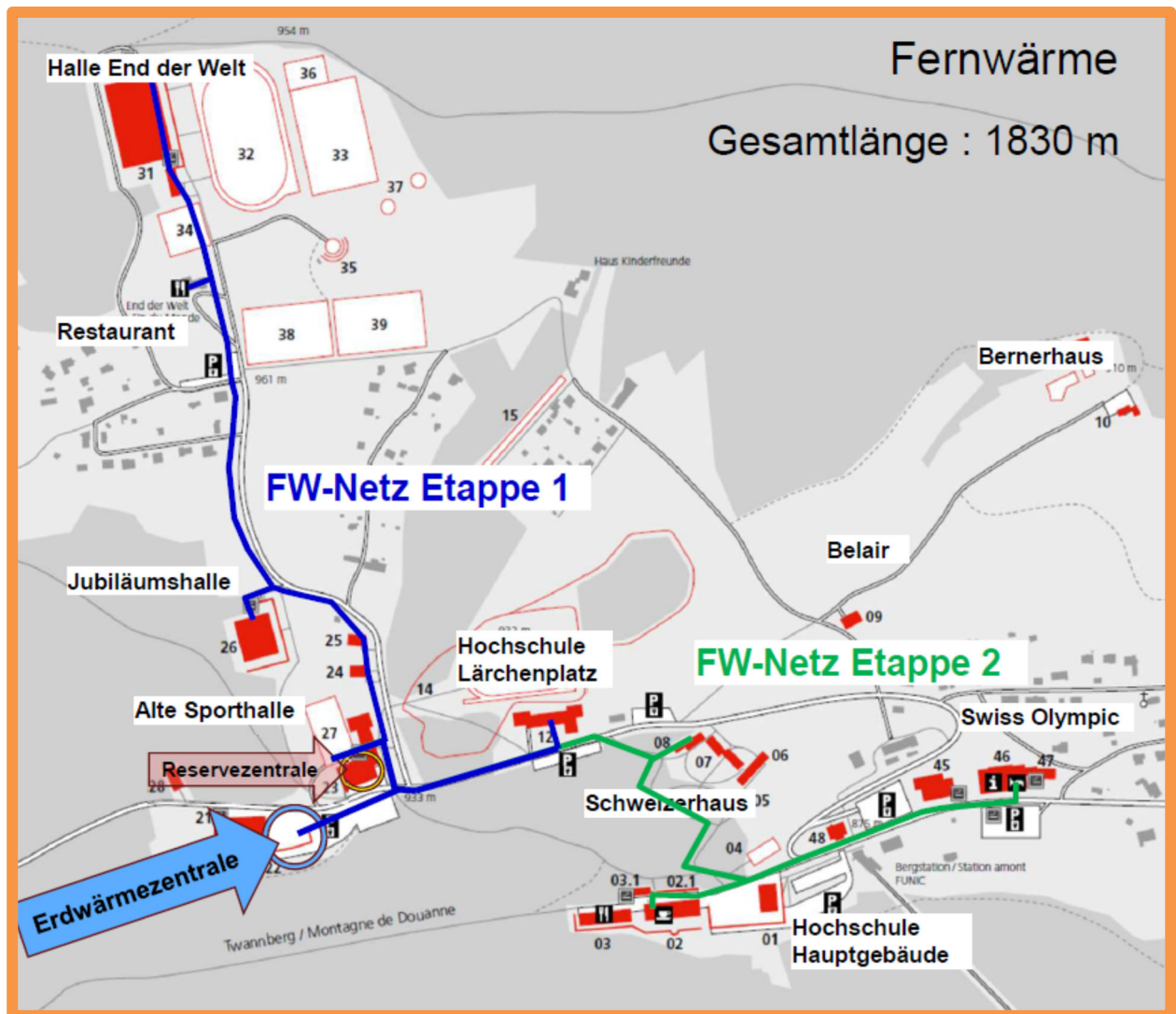


Abbildung 45: Etappierung des Wärmenetzes

## 10 Kundenanlagen

Die Kundenanlagen (Wärmeübergabestationen) ersetzen im bestehenden System die dezentralen Gaskessel, welche in den einzelnen Gebäuden die Wärmeversorgung übernehmen. Die Vorlauftemperatur des Wärmenetzes kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht genau bestimmt werden, da diese abhängig ist von der nutzbaren Temperatur der Erdwärmezentrale. Es werden, je nach Tiefe der Bohrung und des geologischen Aquifers Temperaturen zwischen 35 und 50 °C erwartet.

Da das Wärmenetz als Niedertemperaturnetz ausgeführt wird, muss bei den Kundenanlagen zwischen bestehenden Gebäuden und Neubauten unterschieden werden.

### 10.1 Bestehende Gebäude

In den bestehenden Gebäuden wird die vorhandene Kesselanlage durch eine Wärmepumpe ersetzt. Das Wasser des Wärmenetzes wird dabei als Wärmequelle für eine Wärmepumpe verwendet. Die Wärmepumpe versorgt dann die Heizung und das Brauchwarmwassersystem des bestehenden Gebäudes.

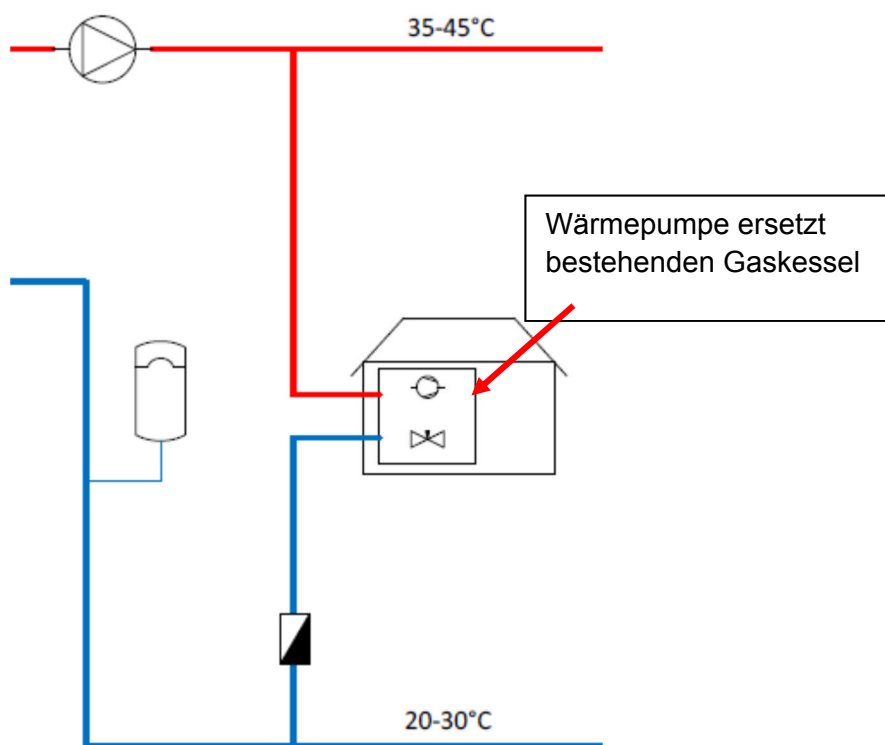


Abbildung 46: Prinzipschaltbild Kundenanlage im bestehenden Gebäude

### 10.2 Neubauten

In neuen Gebäuden wird keine Kesselanlage installiert. Die Heizungsanlage bei Neubauten ist als Niedertemperaturheizung auszulegen und kann somit über einen Wärmetauscher direkt an das Wärmenetz angebunden werden. Für die Brauchwarmwasserversorgung wird eine

separate Wärmepumpe eingesetzt. Das Fernwärme wird dabei, ähnlich wie bei den bestehenden Gebäuden als Wärmequelle verwendet.

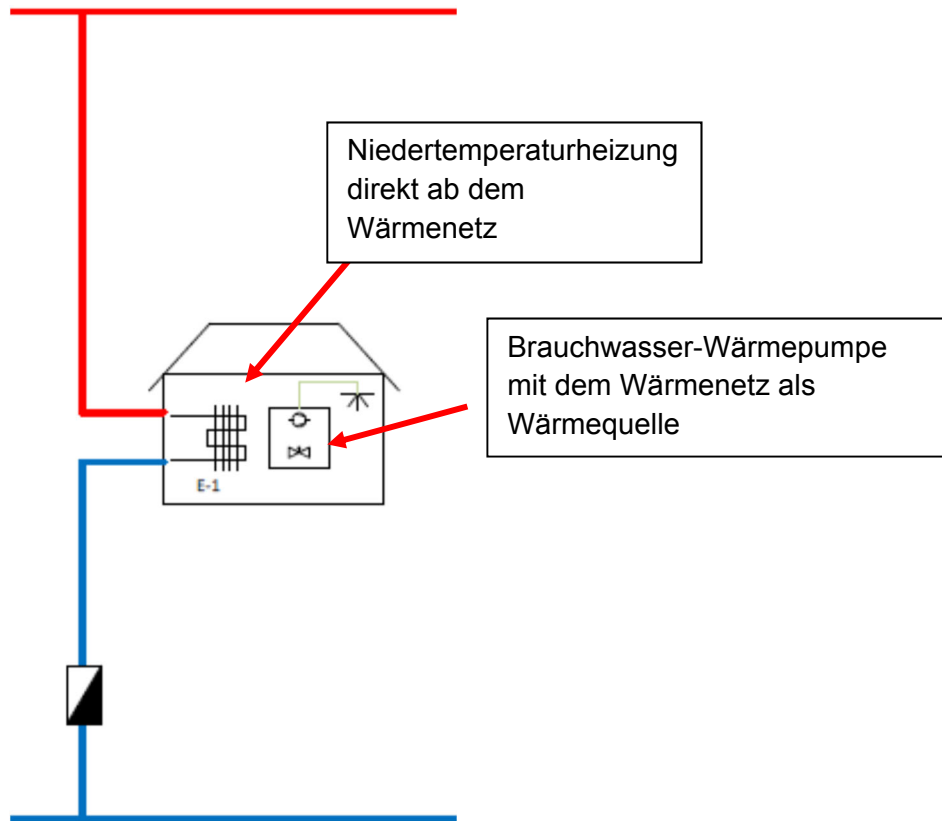


Abbildung 47: Prinzipschaltbild Kundenanlage im Neubau



## 11 Provisorischer Betrieb

Die definitive Erstellung der Erdwärmezentrale benötigt noch einige Vorlaufzeit und kann voraussichtlich erst in ungefähr 7 Jahren die Wärmeversorgung des Netzes übernehmen. Bis zu diesem Zeitpunkt muss die Wärmeversorgung der Gebäude, im Wesentlichen der Neubauten, in denen kein Heizkessel installiert ist, durch eine provisorische Anlage gewährleistet werden.

Das Provisorium soll bereits, wie auch die neu zu bauende Energiezentrale, soweit wie möglich mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Ausserdem ist der Standort der Anlage so zu wählen, dass das Wärmenetz, auch schon die Bauetappe 1, immer von diesem Punkt aus versorgt werden kann. Darüber hinaus ist für das Provisorium auch ein Reservekessel, der mit Öl befeuert wird, vorzusehen.

Die erste Bauetappe des Wärmenetzes wird zwischen dem „End der Welt“ und der HLP erstellt. Der Wärmeleistungsbedarf für den ersten Abschnitt liegt bei etwa:

**Tabelle 3: Wärmeleistung für die erste Bauetappe**

HLP (neu)	310 kW
Ausbildungshalle	180 kW
Jubihalle (Provisorium)	250 kW
End der Welt (Provisorium)	250 kW
<b>Total ca.</b>	<b>990 kW</b>

Diese Kriterien können mit einer provisorischen Pelletsheizung am Standort der «Alten Halle» bestens erfüllt werden.

Als provisorische Heizzentrale wird eine mobile Pelletsheizung eingesetzt mit den folgenden Kennwerten:

**Tabelle 4: Eckdaten provisorische Heizzentrale**

2 Stk Pelletskessel mit je 500 kW	total 1'000 kW
2 Stk Pellets-Silo mit je 25 m <sup>3</sup>	total 50 m <sup>3</sup>
Brennstoffvolumen bei Volllast für	6.5 Tage (156d)
Im „Technik-Container“ sind die Netzpumpen und die Expansionanlage installiert	

Um bei Ausfall eines Pelletskessels die Wärmeversorgung aufrechtzuerhalten, soll dann ein Ölkessel die Wärme erzeugen. Zum Ölkessel wird ein entsprechender Öltank in „passender“ Grösse (ca 7'000 – 10'000 Liter) beigelegt. Der Ölkessel kann wie das Pellets-Provisorium als mobile Anlage an einem festen Standort aufgestellt werden, idealerweise in unmittelbarer Nähe zum Pellets-Provisorium.

Die Ölkesselanlage sollte den Ausfall eines Pelletskessel mit 500 kW Leistung kompensieren. Bei einem Totalausfall der Pelletanlage müsste notfalls eine weitere mobile Ölkesselanlage mit 500 kW Leistung kurzfristig gemietet werden.

Der Aufbau und das Anlagelayout sind nachfolgend dargestellt.

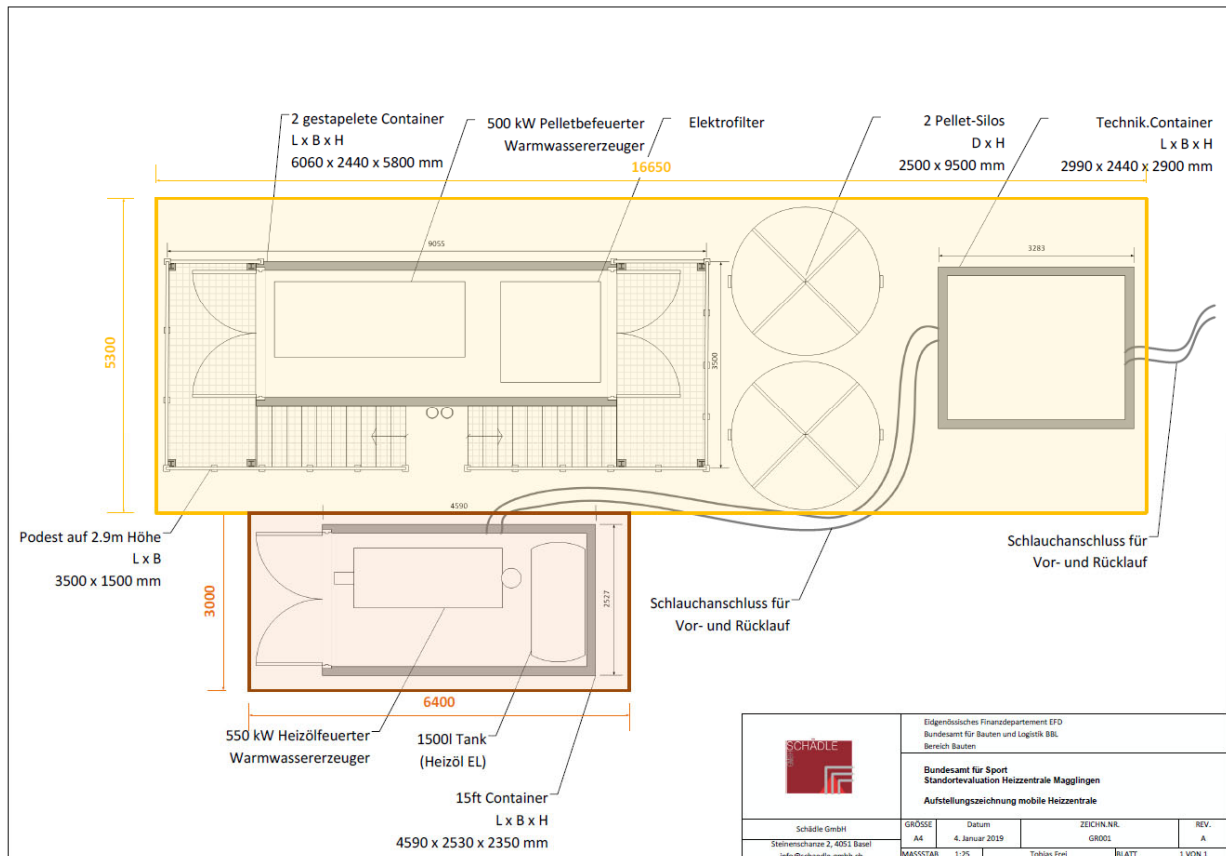


Abbildung 48: Layout provisorische Pelletsheizung mit Reservekessel

Die Situation und die Einbindung in das Wärmenetz sind aus dem Plan ersichtlich.

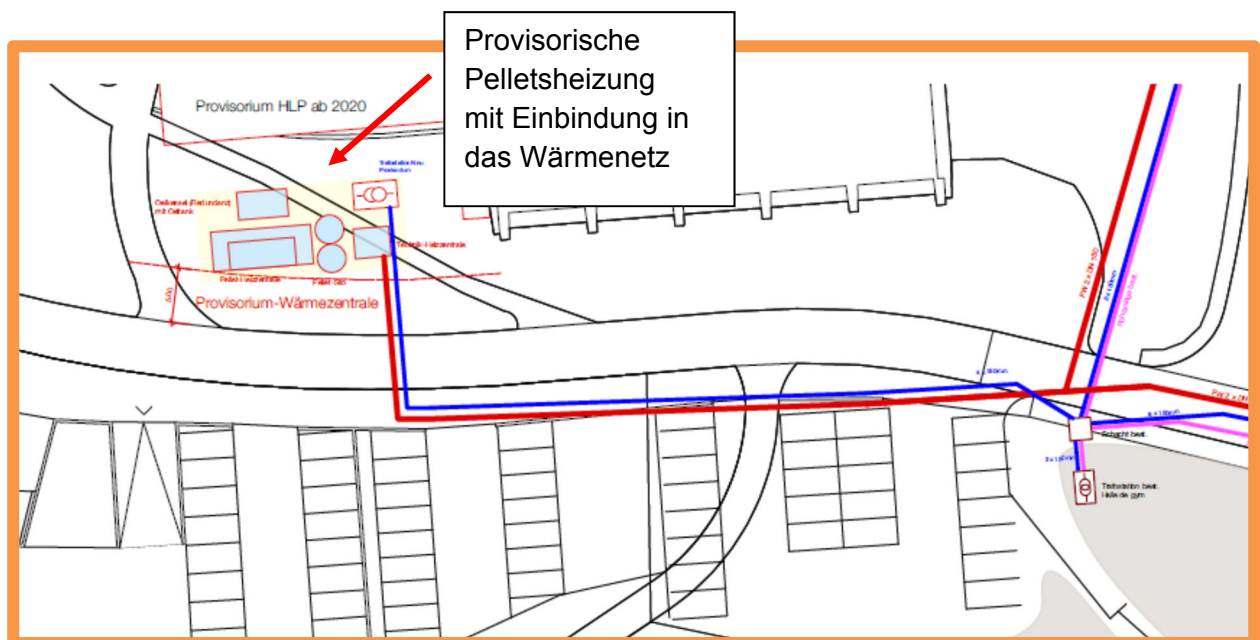


Abbildung 49: Situation Provisorium



**Abbildung 50: Lage Provisorium bei der Alten Halle**

## 12 Bewilligungen

Damit geophysikalische Vorerkundungen (Seismik) und Bohrungen bis hin zur Förderung von Warmwasser überhaupt durchgeführt werden können, werden verschiedene Bewilligungen benötigt. Gemäss Bergregal des Kantons Bern vom 18. Juni 2003 sind für die Erdwärmenutzung folgende wesentlichen Bewilligungen einzuholen (wichtigsten Auszüge):

### 12.1 Allgemeines

#### Art. 3 Begriffe

2. Unter der Nutzung von Erdwärme aus tiefen Erdschichten wird der Entzug von Erdwärme aus mehr als 500 Metern Tiefe verstanden.

#### Art. 4 Bewilligung und Konzession

1. Wer Vorbereitungsmaßnahmen trifft, die das Aufsuchen und Ausbeuten von mineralischen Rohstoffen oder von Erdwärme aus tiefen Erdschichten bezwecken, bedarf einer Bewilligung (Art. 10 bis 13).

### 12.2 Schürfbewilligung

#### Art. 10 Grundsätze

1. Wer oberflächengeologische oder geophysikalische Untersuchungen und damit in Zusammenhang stehende Grabungen oder Bohrungen für das Auffinden von mineralischen Rohstoffen durchführen will, bedarf einer Schürfbewilligung der Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion.
  2. Die Schürfbewilligung gibt das ausschliessliche Recht, innerhalb eines bestimmten Gebietes Arbeiten im Sinn von Absatz 1 auszuführen.
- Es scheint, dass eine Seismik für die Erkundung der Erdwärme keine Schürfbewilligung braucht. Dies müsste aber wegen Art. 4 und 13 noch abgeklärt werden.

### 12.3 Erschliessungsbewilligung

#### Art. 12 Grundsätze

- 1b. Eine Erschliessungsbewilligung der Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion benötigt, wer Vorbereitungsmaßnahmen für die Nutzung der Erdwärme aus tiefen Erdschichten treffen will.
2. Die Erschliessungsbewilligung gibt das ausschliessliche Recht, innerhalb eines bestimmten Gebietes Arbeiten im Sinn von Absatz 1 auszuführen.

#### Art. 13 Verfahren und Voraussetzungen

4. Die Erschliessungsbewilligung wird in der Regel der Person erteilt, die bereits über eine Schürfbewilligung im beantragten Erschliessungsgebiet verfügt.
- Die Erschliessungsbewilligung braucht es auf jeden Fall für die Bohrung.



## 12.4 Konzession

### Art. 14 Grundsätze

2. Die Nutzung der Erdwärme aus tiefen Erdschichten bedarf einer Erdwärmekonzession.

### Art. 15 Voraussetzungen, Befristung

2. Waren für die Ausbeutung mineralischer Rohstoffe oder der Erdwärme aus tiefen Erdschichten bewilligungspflichtige Vorbereitungsmaßnahmen notwendig und bewerben sich mehrere Personen um dieselbe Konzession, so hat den Vorrang, wer im Besitz einer Bewilligung nach den Artikeln 10 ff. ist.
4. Die Konzession wird für höchstens 80 Jahre erteilt.

## 13 Kosten

### 13.1 Kosten Seismik

Die Kosten einer Seismikkampagne können im Vorfeld nur abgeschätzt werden, da sie von einer Reihe von Faktoren abhängen und aufgrund geringer Anzahl (Konkurrenz) von ausführenden Unternehmen starken Schwankungen unterworfen sind. Wichtigster Kostenfaktor ist die Auftragslage der Seismikfirmen, welche vom Ölpreis, aber auch von den aktuellen Investitionen (und Subventionen) in die Geothermie bestimmt werden.

Man kann den Vertrag mit einer Seismikfirma auf Tagesbasis (ca. 50'000 CHF/Tag) oder auf Schusspunktbasis festlegen. In der Regel wird die Schusspunktbasis (Pauschale) verwendet. Dies ist für den Bauherrn mit einer grösseren Kostensicherheit verbunden, weil dann die Seismikfirma bemüht ist, die Arbeiten möglichst rasch durchzuführen. Die Qualität leidet nicht, weil die vertraglich festgelegten Qualitätsstandards der Messung durch interne Qualitätskontrollen und den Birddog (Kundenvertreter vor Ort) sichergestellt werden.

Die Gesamtkosten für die über ein Gebiet von etwa 14 km<sup>2</sup> grosse 3D-Seismik mit ca. 2000 Anregungspunkten wird auf ca. 1.2-1.8 Mio. CHF geschätzt. Die treibenden Kostenpunkte sind mit ca 70% der Kosten die Datenakquisition, Mobilisation und das Permitting. Die Kosten beinhalten auch die Planung, Fördergesuche, Bewilligungen, Begleitung der Seismik, Datenprozessing, Dateninterpretation und Schadensabwicklung (eventuelle Flurschäden).

### 13.2 Bohrungen

Die Kosten einer Tiefbohrung sind (in absteigender Reihenfolge) von folgenden Faktoren abhängig:

- Tiefe
- Verfügbarkeit (massgeblich durch den Ölpreis und daraus resultierenden Explorations-Aktivitäten gesteuert)
- Durchmesser (abhängig von Zweck und projektierten Förderraten)
- Standortspezifische Auflagen (Stadt, Land)
- Bohrlochverlauf (vertikal oder abgelenkt)
- Bohrprogramm (Messprogramm, Testprogramm, Kernentnahme, Stimulationen etc.)
- Geologie
- Vorhandene Infrastruktur

Zur Illustration der Bandbreite der Bohrkosten sei auf die folgenden Explorationsbohrungen in der Schweiz hingewiesen. Die Kosten umfassen die Planung, das Bewilligungsverfahren, die Ausführung der Bohrung, sowie relevanter Tests und der Untertage-Ausbau.

**Tabelle 5: Kostenbeispiele für Bohrungen in der Schweiz**

Ort	Tiefe / Länge	Jahr	Zweck	Ablenkung	Projektleitung	Kosten Mio CHF
Genf Satigny	744 m	2018	Erkundung, Förderung Warmwasser	verikal	SIG	1.5
Schinznach S3	891 m	1996	Förderung Warmwasser	vertikal	Geo Explorers	1
Schlattingen 1	1508 m	2010	Förderung Warmwasser	vertikal	Nagra	3.5
Schlattingen 2	2013 m	2013	Förderung Warmwasser	stark abgelenkt	Nagra	3.5
Otterbach 2	2755 m	2001	Erkundung, Monitoring	vertikal	Geo Explorers	4.2

Die Kosten können zum jetzigen Zeitpunkt nur sehr grob abgeschätzt werden, da wesentliche Punkte noch nicht bzw. erst nach der seismischen Erkundung definiert werden können:

- Genaue Tiefe der Bohrung
- Standort der Bohrung und folglich
  - Ausmass der Ablenkung der Bohrung
  - Lärmschutzmassnahmen
  - Bohrplatzbau
- Verfügbarkeit der Bohranlagen und Öl- bzw. Stahlpreis

Basierend auf Erfahrungswerten in der Schweiz kann mit Kosten für Bohrplatzbau, Bohrung, Tests und Ausbau zwischen 3 bis 6 Mio. CHF für die ca. 1500 m tiefe und abgelenkte Bohrung gerechnet werden.

Um die zu erwartenden Kosten besser einzugrenzen wurde bei einem Unternehmer ein Richtpreisangebot über eine Bohrung eingeholt. Dazu wurde eine Bohrung definiert, auch wenn noch viele technischen Fragen ungeklärt sind. Der Bohrunternehmer (H. Angers Söhne GmbH) schätzt die Kosten für die Bohrungen in Magglingen in einer ähnlichen Grössenordnung wie oben angegeben.

### 13.3 Kosten Erdwärme-Energiezentrale

Bei der betrachteten Variante 2 wird der Reservekessel mit allen Nebenanlagen (Kamin, Öltank, usw.) in die neue Erdwärmezentrale integriert.

**Tabelle 6: Investitionskosten für Energiezentrale Variante 2**

Erdwärmekreis mit Tiefenpumpe, Filter, Wärmetauscher	CHF 400'000
Rohrbau, Netzanbindung	CHF 450'000
Reservezentrale (Öl)	CHF 500'000
Elektro- und MSR	CHF 200'000
Nebenanlagen	CHF 150'000
Bau / Gebäude	CHF 700'000
Honorare, Nebenkosten (Planer, Architekt)	CHF 350'000
<b>Total Erdwärme-Zentrale</b>	<b>CHF 2'750'000</b>

Falls die Reservezentrale in einem bestehenden Gebäude integriert werden kann, werden sich die Gesamtkosten um ca. 500'000 CHF auf etwa 2'250'000 CHF reduzieren.

### 13.4 Total Investitionskosten Erdwärme Magglingen

Baukostenschätzung Erdwärme Magglingen		davon in...					
		Los 1 (Vorprojekt)	Los 2 (Prospektion / Seismik)	Los 3 (Bohrung 1)	Los 4 (Bohrung 2)	Los 5 (Anlagenbau)	Los 6 (Inbetriebnahme)
<b>1 Vorbereitungsarbeiten</b>	<b>550.000</b>						
13 Gemeinsame Baustelleneinrichtung (Bohrplatz errichten)	300.000			300.000			
15 Anpassungen an bestehenden Erschliessungsleitungen (Arealerschliessung)	200.000			200.000			
19 Honorare							
Tiefbauingenieur	50.000			50.000			
<b>2 Gebäude</b>	<b>1.750.000</b>						
21 Rohbau 1 (Zentralengebäude)	700.000					700.000	
29 Honorare	-						
Bauherrnvertretung	200.000	60.000	40.000	40.000	20.000	20.000	20.000
Gesamtleitung/Oberbauleitung	300.000	90.000	60.000	60.000	30.000	30.000	30.000
Geologe	350.000	40.000	200.000	60.000	50.000		
GSU-Begleiter	50.000	-	10.000	20.000	20.000	-	-
Kommunikationsberater	50.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	-
Architekt	100.000					100.000	
<b>3 Betriebseinrichtungen</b>	<b>2.050.000</b>						
34 HLKK-Anlagen (thermischer Anlagenbau)	1.800.000					1.700.000	100.000
39 Honorare							
Planung thermische Energieanlagen	250.000					200.000	50.000
<b>4 Umgebung</b>	<b>50.000</b>						
40 Terraingestaltung (Rückbau und Instandstellung Bohrplatz)	50.000				50.000		
<b>5 Baunebenkosten und Übergangskosten</b>	<b>-</b>						
<b>6 Seismik</b>	<b>1.250.000</b>						
61 Seismik	950.000		950.000				
69 Honorare							
QM Seismik/Processing	150.000		150.000				
Auswertung Seismik	150.000		150.000				
<b>7 Geothermiebohrungen 1&amp;2</b>	<b>7.300.000</b>						
71 Bohrung 1&2	7.000.000			4.000.000	3.000.000		
73 Ausrüstung Brunnen	150.000			150.000			
79 Honorare							
Bohrplanung	150.000	150.000					
<b>8 Reserve (Diverses und Unvorhergesehenes)</b>	<b>950.000</b>						
		200.000	200.000	300.000		250.000	
<b>9 Ausstattung</b>	<b>-</b>						
<b>Total Wärmeerzeugung Erdwärme Magglingen (+/- 25%; exkl. MwSt)</b>	<b>13.900.000</b>	<b>550.000</b>	<b>1.770.000</b>	<b>5.190.000</b>	<b>3.180.000</b>	<b>3.010.000</b>	<b>200.000</b>

Abbildung 51: Baukostenschätzung Gesamtprojekt (Detail siehe Beilage)

### 13.5 Kosten Kundenanlagen

In den bestehenden Gebäuden müssen die Gasheizungen auf Niedertemperatur-Fernwärmeanschluss umgerüstet werden. Die Temperaturanhebung vom Wärmenetz zur Heizungsvorlauftemperatur erfolgt durch eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe.

Die Umrüstung entspricht im Prinzip einem «Kesslersatz» durch eine Wärmepumpe. Die Kosten werden aufgrund einer Richtpreisofferte auf etwa CHF 450'000.- geschätzt.

In den Kosten sind keine hydraulischen Anpassungsarbeiten und keine Baumeister- und Nebenarbeiten enthalten, da diese derzeit nicht bekannt sind. Bei Neubauten ist die Heizungsanlage so zu dimensionieren, dass die Heizung direkt ab dem Wärmetauscher des Wärmenetzes erfolgen kann.



## 14 Zeit- und Projektplan

Die Erschliessung des geothermischen Potentials in Magglingen wird in verschiedene Projektphasen gegliedert werden. Diese sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (Originalgrösse siehe auch Beilage) dargestellt. Im Projektphasenplan ist die zeitliche Einbettung, die Grobkosten und die Dauer der Arbeiten erfasst und grafisch abgebildet.

Dazu ergänzend sind im Submissionsprogramm die zu vergebenden Arbeiten, aufgeteilt nach Dienstleistungen, Bauleistungen und Lieferungen erfasst. Aus dem Submissionsprogramm kann entnommen werden wann welche Submissionen getätigt werden müssen, wie hoch die erwartete Vergabesumme ist und wie lange die Ausführung der Arbeiten und Leistungen dauert.

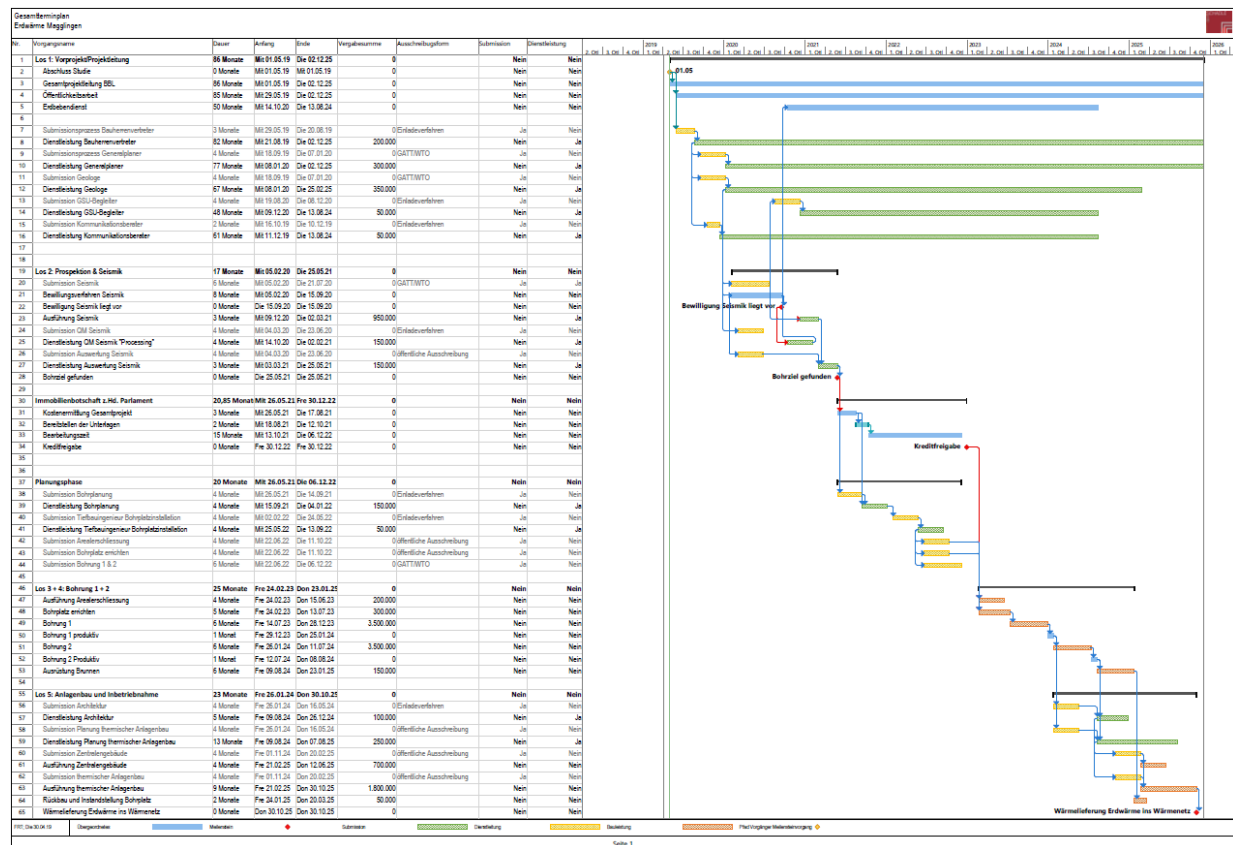


Abbildung 52: Terminplan Gesamtprojekt (Detail siehe Beilage)

## 15 Empfehlungen und weiteres Vorgehen

Die in der Studie analysierten Daten ergeben mit hoher Wahrscheinlichkeit ein sehr gut nutzbares Potential für die Erdwärmenutzung. Dies bezüglich der geologischen Situation, der baulichen Machbarkeit am Standort und auch der potentiellen Wärmeabnehmer in den Gebäuden des BASPO.

Es kommen mehrere potentielle grundwasserführende Schichten in unterschiedlichen Tiefen und Erfolgchancen in Frage. Das grösste Potential wird im Kreuzungsbereich der Überschiebungsbahn mit steil stehenden Bruchzonen im Muschelkalk erachtet. In diesen Zonen sind diese Gesteine intensiv deformiert (geklüftet), sodass der im Gestein benötigte Wasserfluss erwartet werden kann. Dies würde eine Bohrung bis auf ca. 1300 m Tiefe bedingen. Da eine solche Bohrung zielgenau diesen Kreuzungsbereich erreichen müsste, aber diese auf Grund der fehlenden Untergrunddaten derzeit nicht genau lokalisiert werden kann, muss der Untergrund vorweg mit einer 3D-Seismik vermessen werden.

Die Wärmeverteilung erfolgt in einem Niedertemperaturnetz. Das bedeutet, dass das warme Tiefenwasser über einen Wärmetauscher die Wärme direkt an das Fernwärmewasser überträgt, welches dann die Heizenergie zu den einzelnen Liegenschaften transportiert.

### 15.1 Projektstart

Bevor das Erdwärmeprojekt gestartet werden kann, sollte neben der Kreditbewilligung vor allem das Projektteam zusammengestellt werden.

In einem ersten Schritt wird dazu die Projektleitung des BBL einen externen Bauherrenvertreter auswählen, welcher in enger Zusammenarbeit mit dem BBL das Projekt begleiten und führen wird. Der Bauherrenvertreter sollte idealerweise bereits Erfahrung mit der Abwicklung und der Umsetzung von Geothermieprojekten besitzen, aber auch über Kompetenzen im Bereich der Projektleitung und Integration von verschiedenen Fachspezialisten in ein Projektteam verfügen.

Das BBL wird dann, gemeinsam mit dem bereits bestimmten Bauherrenvertreter die ersten wesentlichen Projektschritte einleiten.

### 15.2 Beschaffung der Spezialisten

Das Projektteam der Bauherrschaft startet die Projektarbeit mit der Beschaffung / Submission der notwendigen Dienstleistungen. Hierbei handelt es sich um Spezialisten aus verschiedenen Fachgebieten, welche die erforderlichen Leistungen im Bereich Projektierung, Planung, Bewilligung und Submissionen erbringen. Die Besonderheit des «unkonventionellen» Bau- und Beschaffungsprozesses ist dabei zu berücksichtigen.

Folgende Dienstleistungen werden dabei zwingend benötigt:

- Gesamtplanung / Gesamtprojektleitung
- Oberbauleitung
- Geologie / Modellierung
- GSU-Verantwortung (Gesundheit/Sicherheit/Umwelt)
- Kommunikation / Öffentlichkeitsarbeit

Die Arbeiten für diese Dienstleistungen werden entsprechend der Submissionsverordnung ausgeschrieben.

Diese Fachexperten bilden, gemeinsam mit der Projektleitung des BBL und dem Bauherrenvertreter das Projektteam. Das Team wird durch den Gesamtprojektleiter organisiert und geleitet.

Sollten im Laufe des Projektes weitere Fachexperten, wie zum Beispiel Mikroseismik-Experten des SED, benötigt werden, sollen diese Dienstleistungen durch den jeweiligen Fachexperten des Projektleitungsteams definiert und entsprechend submissioniert.

Die Gesamtprojektleitung erarbeitet gemeinsam mit den Fachspezialisten und dem Bauherrenvertreter einen detaillierten Gesamtprojektplan mit

- Projektstruktur
- Terminplan
- Organigramm
- Submissionsplan
- Kostenkontrolle
- Qualitätskontrolle

Im Detail wird in dieser Phase der nächste Projektschritt (Prospektion, Seismik) strukturiert.

### **15.3 Prospektion, Seismik**

Die Planung der Prospektion des Untergrundes, welche in diesem Falle hauptsächlich in der Durchführung und Auswertung der Seismik besteht, erfolgt im Wesentlichen durch das leitende Geologie-Büro. Mit dem Ziel die für dieses Projekt wichtigen Untergrundstrukturen zu erfassen und letztendlich ein Bohrziel zu definieren wird die Durchführung einer Seismik-Kampagne geplant und ausgeschrieben. Es wird eine kompetente Firma ermittelt, welche diese Arbeiten kostengünstig im vorgesehenen Zeitrahmen und der notwendigen Qualität ausführt.

Die Ausführung der Arbeiten muss geleitet, überwacht und die Qualität entsprechend den Vorgaben gesichert werden.

Darüber hinaus benötigt es Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit bereits in dieser frühen Projektphase.

Nach dem Vorliegen der Seismischen Messergebnisse müssen diese Daten aufbereitet, interpretiert und in ein 3-D-Modell des Untergrundes eingearbeitet werden. Erst nach diesen Vorarbeiten kann das Bohrziel, der Bohrfad und damit auch (näherungsweise) die Bohrkosten ermittelt werden.

Da am Ende dieses Projektschrittes ein mögliches Abbruchkriterium definiert ist (→ Bohrziel erkannt) erfolgt erst anschliessend an diesen Meilenstein die Ausarbeitung der Immobilienbotschaft.

### **15.4 Bohrungen 1 & 2**

Während der Bearbeitungszeit der Immobilienbotschaft werden die nächsten Massnahmen detailliert geplant und ausgeschrieben. Das betrifft hauptsächlich

- Vorbereiten und Erstellen des Bohrplatzes
- Bohrung 1 mit Test
- Bohrung 2 mit Test
- Zirkulationstest Bohrung 1 / Bohrung 2

Nach der Freigabe des Kredites können die vorbereiteten Arbeiten beauftragt und gestartet werden.

Während dieser Phase ist eine intensive Baubegleitung und Qualitätskontrolle zwingend erforderlich, da bei den Bohrarbeiten viele nicht vorhersehbare Ereignisse auftreten können, aber auch durch die Bohrungen die Basis zur nachhaltigen Nutzung der Erdwärme für mehr als 50 Jahre gelegt wird.

Zum Abschluss jeder Bohrung werden geologische und hydraulische Tests ausgeführt, um die Nutzbarkeit der Bohrungen nachzuweisen. (Abbruchkriterium / Meilenstein)

## **15.5 Bau und Anlagebau**

Nach dem erfolgreichen Abschluss und den Zirkulationstests der Bohrungen kann mit der «eigentlichen» Anlagenplanung begonnen werden

Die Ausführung des Anlagebaus kann prinzipiell gemäss standard- SIA-Phasenplan erfolgen.

Wir empfehlen, dass bereits vor Abschluss der zweiten Bohrung ein bewilligungsfähiges Bauprojekt ausgearbeitet vorliegt, damit nach Abschluss der Bohrungen unmittelbar mit dem



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Standortgebiet .....	3
Abbildung 2: Geologische Karte .....	5
Abbildung 3: Wasserzutritte im Grenchenberg-Tunnel .....	6
Abbildung 4: 3D-Blockbild vom Untergrund am Projektstandort .....	7
Abbildung 5: Hauptziele der geothermischen Erschliessung .....	8
Abbildung 6: Untergrundtemperaturen in umliegenden Bohrungen .....	10
Abbildung 7: Potentielle Aquifere am Projektstandort .....	12
Abbildung 8: Querprofil mit Aquiferen und Fliessrichtungen .....	13
Abbildung 9: Zielhorizonte am Standort Magglingen .....	13
Abbildung 10: Seismische Messungen mit Vibrotrucks in Nidwalden .....	18
Abbildung 11: Auslegen der Geophone in Nidwalden .....	18
Abbildung 12: Prinzip seismischer Messungen .....	19
Abbildung 13: Beispiel einer 2D-Seismik-Linie im östlichen Jura .....	19
Abbildung 14: Tiefbohrung Basel-1 auf 5000 m. Beispiel für eine grosse Anlage .....	20
Abbildung 15: Bohrung Otterbach-1 auf 1535 m. Beispiel für eine kleinere Anlage .....	20
Abbildung 16: Linienplan für die seismische Erkundung .....	22
Abbildung 17: Arbeitsschritte bei einer seismischen Vermessung .....	23
Abbildung 18: gebrauchter Rollenmeissel (Warzenmeissel) .....	25
Abbildung 19: PDC Meissel (PDC= polycrystalline diamond compact cutter) (BGR) .....	26
Abbildung 20: Gebraucher Rollenmeissel (Zahnmeissel) .....	26
Abbildung 21: Untertagemotor mit Knickstück (Bild: Weatherford) .....	26
Abbildung 22: Schematische Darstellung Bohrlochabschluss 3000psi .....	28
Abbildung 23: Beispiel einer abgelenkten Bohrung in der Schweiz .....	29
Abbildung 24: Bohrkeller mit abgesetztem Standrohr .....	31
Abbildung 25: Gestängepumpe (hier mit kurzer Welle) .....	34
Abbildung 26: Tauchkreislumpumpe .....	34
Abbildung 27: Geothermiefilter, Jet-Filter .....	36
Abbildung 28: Geothermiefilter, Kerzen- und Korbfilter .....	36
Abbildung 29: Geothermie-Wärmetauscher, Rohrbündel-WT .....	36
Abbildung 30: Geothermie-Wärmetauscher, Plattenwärmetauscher .....	36
Abbildung 31: Schema Primärkreislauf und Wärmenutzung Erdwärme Magglingen .....	37
Abbildung 32: Übersichtsplan Bohrplatz und Provisorium Erdwärme Magglingen .....	38
Abbildung 33: Layout Erdwärme-Energiezentrale (ohne Reserve-Ölkessel) .....	39
Abbildung 34: Prinzipschaltbild mit dezentralem Redundanzkessel (Var 1) .....	40
Abbildung 35: Situation Erdwärme-Zentrale mit dezentralem Reserve-Ölkessel (Var 1) .....	40
Abbildung 36: Variante 1: Schnittplan / Erdwärme-Energiezentrale (ohne Reserve-Ölkessel) .....	41
Abbildung 37: Prinzipschaltbild mit zentralem Redundanzkessel (Variante 2) .....	41
Abbildung 38: Situation Erdwärme-Zentrale mit integriertem Reserve-Ölkessel (Var 2) .....	42
Abbildung 39: Schnittplan Zentrale mit integriertem Reserve-Ölkessel und Bohrkeller .....	42
Abbildung 40: Modell Biomasse-Energiezentrale .....	44
Abbildung 41: Situation Biomasse-Energiezentrale «Werkhof» .....	45
Abbildung 42: Schnitt Biomasse-Energiezentrale «Werkhof» .....	45
Abbildung 43: Grabenprofil des Wärmenetzes .....	46
Abbildung 44: Dimensionierung des Wärmenetzes .....	47
Abbildung 45: Etappierung des Wärmenetzes .....	48

Abbildung 46: Prinzipschaltbild Kundenanlage im bestehenden Gebäude.....	49
Abbildung 47: Prinzipschaltbild Kundenanlage im Neubau.....	50
Abbildung 48: Layout provisorische Pelletsheizung mit Reservekessel.....	52
Abbildung 49: Situation Provisorium .....	52
Abbildung 50: Lage Provisorium bei der Alten Halle .....	53
Abbildung 51: Baukostenschätzung Gesamtprojekt (Detail siehe Beilage) .....	58
Abbildung 52: Terminplan Gesamtprojekt (Detail siehe Beilage).....	59

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Geothermisches Potential in Magglingen .....	16
Tabelle 2: Planungswerte für die 3D-Seismik in Magglingen .....	21
Tabelle 3: Wärmeleistung für die erste Bauetappe .....	51
Tabelle 4: Eckdaten provisorische Heizzentrale .....	51
Tabelle 5: Kostenbeispiele für Bohrungen in der Schweiz .....	57
Tabelle 6: Investitionskosten für Energiezentrale Variante 2 .....	57