

---

**Bericht Nr. 2618075.1**

---

**Gemeinde Davos, Davos Platz  
Amt für Natur und Umwelt Graubünden, Chur  
Bundesamt für Energie, Ittigen**

## **Davos, Fallstudie Geothermieprojekt**

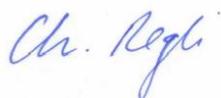
**Auswertung und Beurteilung angewandter Methoden zur  
Prospektion, Erschliessung und Nutzung**

Davos, 29. November 2019

**GEOTEST AG**  
BAHNHOFSTRASSE 8A  
CH-7260 DAVOS DORF  
T +41 (0)81 410 35 00  
F +41 (0)81 410 35 01  
davos@geotest.ch  
www.geotest.ch

Autor(en)	Bearbeitete Themen / Fachbereiche
Stephan Bolay	Bericht, Methodenblätter
Christian Regli	Bericht, Methodenblätter
Valentina Berchier	Methodenblätter
Supervision	Visierte Inhalte
Christian Regli	Bericht, Methodenblätter
Hinweise	

GEOTEST AG



Christian Regli



Stephan Bolay

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
1.1	Auftrag.....	4
1.2	Ausgangslage .....	5
1.3	Trägerschaft .....	6
1.4	Zielsetzung .....	6
1.5	Verwendete Unterlagen .....	7
2.	Geologische und hydrogeologische Verhältnisse .....	9
2.1	Geologische Verhältnisse .....	9
2.2	Hydrogeologische Verhältnisse .....	11
3.	Projektbesonderheiten .....	12
3.1	Projektphasen und Ziele .....	12
3.2	Grundwasserrückgabe .....	12
3.3	Zeitpunkt der Modellierungen .....	12
4.	Angewandte Methoden .....	13
5.	Fazit .....	14

## Anhang

Anhang 1 Überblick der angewandten Methoden

## Beilage

Beilage 1 Methodenblätter

## 1. Einleitung

### 1.1 Auftrag

Objekt:	Kluftaquifer der Schiahorn-Decke in Davos
Auftraggeber:	Gemeinde Davos, Berglistutz 1, 7270 Davos Platz Amt für Natur und Umwelt GR, Gürtelstrasse 89, 7001 Chur Bundesamt für Energie, Mühlestrasse 4, 3063 Ittigen
Auftrag:	Zusammenstellung und Bewertung der angewandten Methoden zur Prospektion und Erschliessung des mitteltiefen Kluftaquifers der Schiahorn-Decke in Davos und geothermischen Nutzung der Erkundungsbohrung als Grundlage für ein interessiertes Fachpublikum zur Planung und Realisierung ähnlicher Geothermieprojekte (im alpinen Raum)
Offerte:	OF2618075.1 vom 26.10.2018
Auftragserteilung:	Gemeinde Davos, Kleiner Landrat, Beschluss vom 18.06.2019, Protokoll-Nr. 19-426, Reg.-Nr. U1.5

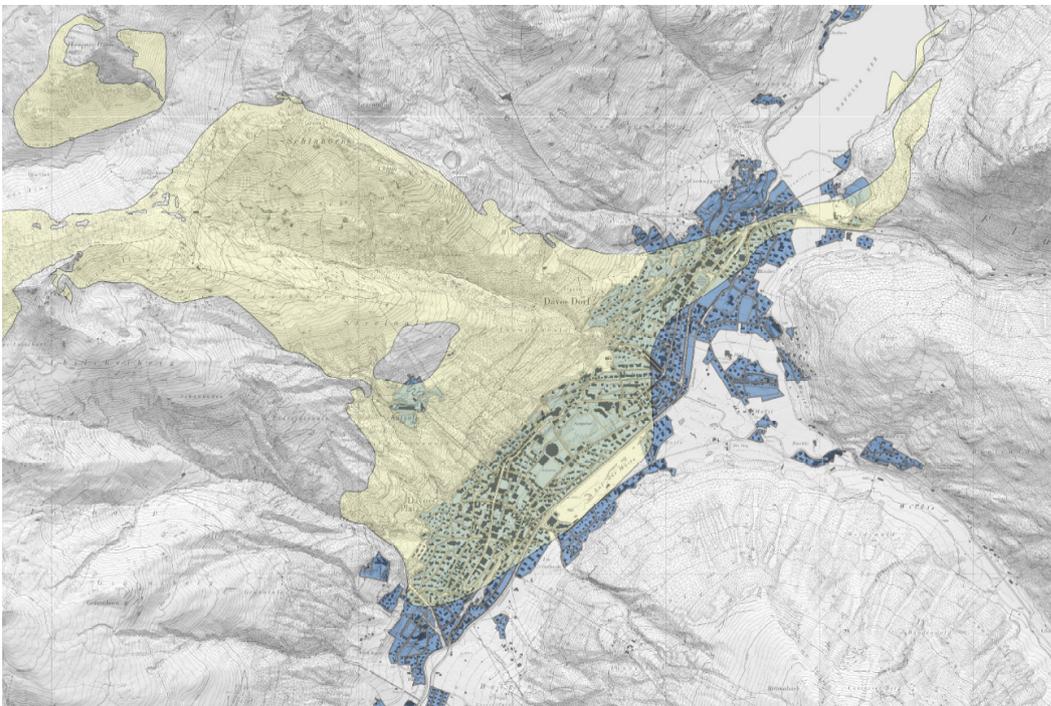


Abbildung 1: Ausschnitt aus der Topographischen Karte 1:100'000 mit der Bauzone Davos (blau) und der Schiahorn-Decke (gelb) gemäss [3]. Quelle: [www.map.geo.admin.ch](http://www.map.geo.admin.ch).

## 1.2 Ausgangslage

Die Gemeinde Davos setzt mit ihrer energiepolitischen Strategie auf eine verstärkte Förderung und Nutzung einheimischer und erneuerbarer Energien sowie auf eine kontinuierliche Erhöhung der Energieeffizienz. Ein wichtiger Teil dieser Strategie ist die verstärkte Nutzung der Geothermie.

Um die Möglichkeiten der Nutzung der mitteltiefen Geothermie abzuklären, hat die Gemeinde Davos in den letzten rund 10 Jahren umfangreiche Untersuchungen im Kluftaquifer der Schiahorn-Decke durchgeführt.

Dieses Pilotprojekt fand als "Geothermische Ressourcenanalyse Kongresszentrum Davos" schon früh Aufnahme im energiepolitischen Programm der Energiestadt Davos. Dabei wurden jeweils die einzelnen Projektphasen berücksichtigt (siehe auch Anhang 1):

2009 Projektidee, **Projektentwicklung**  
Erarbeitung **Untersuchungskonzept**, Fördergesuche  
Variantenstudium

2010 **Standortuntersuchungen** und -optimierungen  
Bohrausschreibung und Vergabe

2012 **Erkundungsbohrung** zur Prospektion und Erschliessung der  
geothermischen Ressource

2012/13 **Bohrlochuntersuchungen- und Aquifertests**

2014-2017 **Testbetrieb** (theoretisch bis ca. 2 GWh/a Wärme möglich)  
und hydrogeologische Überwachung

Ab 2018 **Regulärer Betrieb** Regulärer Testbetrieb mit Integration in bestehenden Wärmeverbund Kunsteisbahnen (Anteil Geothermie zurzeit ca. 20-30% bzw. 0.3-0.4 GWh/a), Langzeitüberwachung

2018-2020 **Folgeprojekt** (ca. 4 GWh/a geplant) zur Erschliessung des Aquifers für einen weiteren Wärmeverbund

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden regelmässig in Fachberichten ([4][5][6][7][10][14]) und wissenschaftlichen Publikationen ([1][10][13]) dokumentiert. Das Projekt stiess zudem auf grosses mediales Interesse mit zahlreichen Beiträgen in den lokalen und regionalen Medien.

### 1.3 Trägerschaft

Die Arbeiten wurden von der Gemeinde Davos beauftragt und durch weitere Institutionen finanziell unterstützt:

- Bundesamt für Energie (BFE)
- Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)
- Amt für Natur und Umwelt Graubünden (ANU GR)
- Amt für Energie und Verkehr Graubünden (AEV GR)
- World Economic Forum (WEF)

Die Projektbearbeitung erfolgte durch:

- GEOTEST AG, Davos:  
Projektentwicklung, Projektleitung und Projektbearbeitung
- SSKA<sup>1</sup>, La Chaux-de-Fonds:  
Beratung kantonale Amtsstellen und Bauherr
- ETH<sup>2</sup>, Zürich:  
Isotopenuntersuchungen
- AUG<sup>3</sup>, Basel:  
Geologische und hydraulische 3D Modellierung

### 1.4 Zielsetzung

Im Rahmen des Pilotprojektes wurden zahlreiche Methoden angewendet und Erfahrungen gesammelt. Ziel des vorliegenden Berichtes ist es, die Ergebnisse und Erfahrungen aus den wichtigsten angewandten Methoden zusammenzustellen und zu bewerten. Dadurch können sie einem interessierten Fachpublikum zur Planung und Realisierung ähnlicher Geothermieprojekte im alpinen Raum verfügbar gemacht werden.

---

<sup>1</sup> SSKA: Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung

<sup>2</sup> ETH: Eidgenössische Technische Hochschule

<sup>3</sup> AUG: Angewandte und Umweltgeologie der Universität Basel

## 1.5 Verwendete Unterlagen

- [1] Bolay, St., Regli, Ch., Eichenberger, U., Calonder, GP., Aebli, HR., Siddiqi, G. (2017): Geothermal exploration borehole Davos. Site investigation and geothermal exploitation of an alpine, fractured, artesian aquifer in Davos, Switzerland. 15<sup>th</sup> Conference proceeding Swiss Geoscience Meeting 2017 Davos.
- [2] Büchi und Müller AG (1986): Landschaft Davos. Pilotprojekt geothermische Bohrung Phase II, Schlussbericht, Bericht Nr. 2063 vom 13.11.1986.
- [3] Bundesamt für Landestopographie swisstopo (2017): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000. Kartenblatt 1197 Davos mit Erläuterungen. Bearbeitung durch Schwizer B., Signer A., Maggetti M., Keller F., Pfiffner O.A. und weitere.
- [4] Eisenring C. (2015): Abklärung der Herkunft des Grundwassers in der Geothermiebohrung in Davos (GR). Bachelor-Arbeit, ETH Zürich.
- [5] GEOTEST AG (2010): Geothermische Ressourcenanalyse Kongresszentrum Davos, 1. Projektphase: Seismische Untersuchungen. GEOTEST, Bericht Nr. G0939.2 vom 20.09.2010.
- [6] GEOTEST AG (2013): Geothermische Ressourcenanalyse Kongresszentrum Davos, 2. und 3. Projektphase: Erkundungsbohrung, Bohrlochmessungen und -versuche. GEOTEST, Bericht Nr. G0939.3 vom 01.03.2013.
- [7] GEOTEST AG (2017): Grundlagen der geothermalen Nutzung alpiner mitteltiefer Aquifere (GNAMA). Nutzung Erkundungsbohrung Davos. GEOTEST, Bericht Nr. 2614015.4 vom 20.12.2017.
- [8] GEOTEST AG (2019): Geothermisches Nutzungskonzept Davos. Untiefe und mitteltiefe Geothermie. Berichtsentwurf Nr. 2618085.1 vom 15.06.2019.
- [9] GEOTEST AG (2019): Erdwärmennutzung Davos, Anpassung EWS-Karte. Berichtsentwurf Nr. 2617070.1 vom 13.11.2019.
- [10] Regli, C., Kleboth, P., Eichenberger, U., Schmassmann, S., Nyfeler, P., Bolay, St. (2014): Erste Erkenntnisse zur Prospektion und Charakterisierung des Aquifers der Aroser Dolomiten, Schweiz. Grundwasser 19, 29-38.
- [11] SISKa (2013): Karsthydrogeologie der Aroser Dolomiten – Konsequenzen für die geothermische Bohrung Kongresszentrum Davos. Bericht vom 16.01.2013.
- [12] SN 509 112 (2014): Modell Bauplanung, Verständigungsnorm.

- [13] Scheidler, S., Anders, B., Regli, Ch., Bolay, St., Huggenberger, P. (2019):  
Geothermal use of an Alpine aquifer - Davos pilot study. Grundwasser 24,  
277-286.
- [14] Universität Basel (2019): GRETA: Near-surface Geothermal Resources in the  
Territory of the Alpine Space Davos, Geologisches Modell, Grundwassermod-  
ellierung. Geologisches Institut der Universität Basel, Abteilung Angewandte  
und Umweltgeologie, Bericht BGA Graubünden 4 vom 18.09.2019.

## **2. Geologische und hydrogeologische Verhältnisse**

Die Untergrundverhältnisse in Davos sind stark alpin geprägt (Abbildung 2). Dies spiegelt sich in den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen wie Deckenüberschiebungen, steilstehenden Schichten, Bruch-/Störungszonen, durch die ausgeprägte Topografie bedingte hydraulische Druckverhältnisse und Fliesswege des Grundwassers sowie z.T. artesischen Ausfluss bei Bohrungen wieder. Nachfolgend sind die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse kurz beschrieben.

### **2.1 Geologische Verhältnisse**

#### **Lockergesteine**

Die jüngste und damit oberste Einheit sind die quartären Lockergesteine (in Abbildung 2 nicht dargestellt). Es handelt sich dabei um glaziale und periglaziale Ablagerungen, Fluss- und Seeablagerungen sowie gravitative Ablagerungen. Im Siedlungsgebiet von Davos beträgt die Mächtigkeit dieser Ablagerungen mehrere zehner Meter und im zentralen Bereich des Landwassertales lokal über hundert Meter.

#### **Silvretta-Decke**

Auf der SE-Seite und südlich von Davos Platz auch auf der NW-Seite des Landwassertales sind Kristallingesteine der oberostalpinen Silvretta-Decke aufgeschlossen, vor allem Gneise, Granite und Amphibolite. Diese bis mehrere Kilometer mächtige Gesteinsserie bedeckt einen grossen Teil des Gemeindegebietes und befindet sich in der tektonischen Abfolge der Festgesteine zuoberst (Abbildung 3).

#### **Schiahorn-Decke**

Unter der Silvretta-Decke folgen Sedimente der unterostalpinen Schiahorn-Decke (alter Name: Aroser Dolomiten-Decke), welche im Raum Davos hauptsächlich aus Dolomit (Hauptdolomit-Gruppe) besteht. Diese tektonische Einheit erstreckt sich vom Albulatal bis nach Davos und baut unter anderem das Schiahorn auf. In Davos taucht diese Einheit unter den Talgrund ab. Die Mächtigkeit dieser Gesteinsserie variiert stark, von wenigen zehner Metern bis mehreren hundert Metern. Wie weit diese Gesteinsserie unter der Silvretta-Decke in Richtung S und SE reicht, ist nicht bekannt (Abbildung 3).

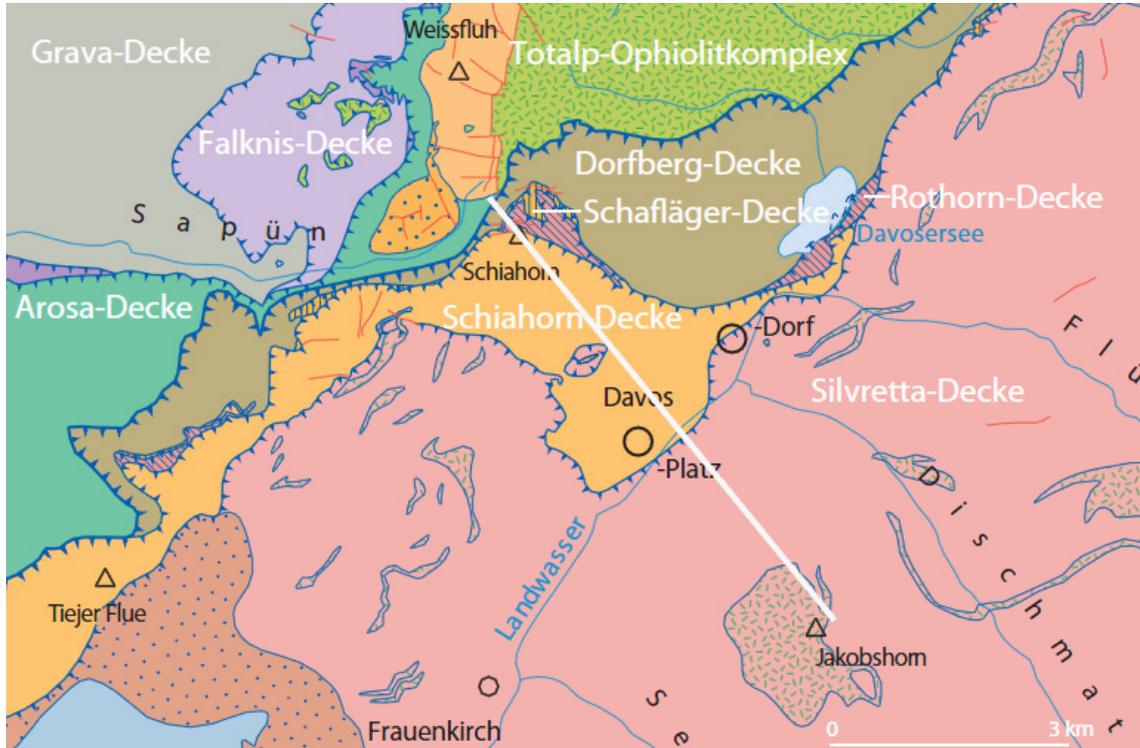


Abbildung 2: Ausschnitt aus der tektonischen Karte des penninisch-ostalpinen Grenzbereichs in Mittelbünden [3]; geologisches Übersichtsprofil siehe Abbildung 3.

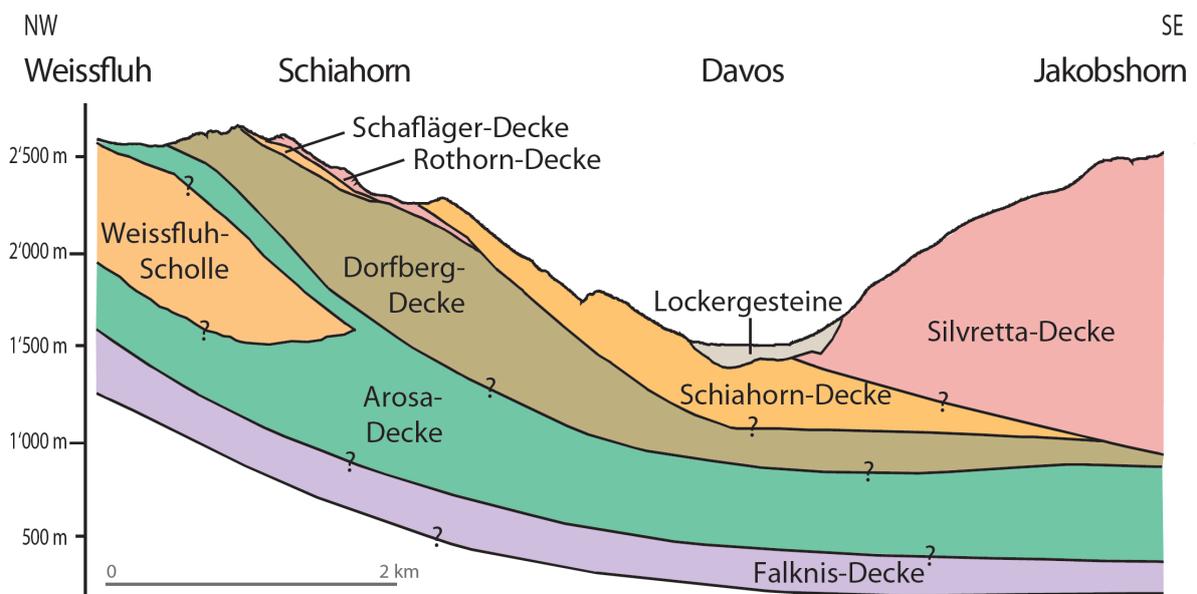


Abbildung 3: Geologisches Übersichtsprofil durch Davos; Profilsur siehe Abbildung 2.

## **Rothorn-, Schafläger- und Dorfberg-Decke**

Unter der Schiahorn-Decke folgen mit den unterostalpinen Rothorn- und Dorfberg-Decken weitere kristalline Einheiten. Dazwischen befinden sich Sedimente der Schafläger-Decke. Sowohl die Rothorn- als auch die Schafläger-Decke sind geringmächtig und unter der Schiahorn-Decke möglicherweise nicht zusammenhängend vorhanden. Die Dorfberg-Decke, welche vor allem aus Gneisen und Gabbros besteht, ist hingegen durchgängig und mehrere hundert Meter mächtig (Abbildung 3).

## **2.2 Hydrogeologische Verhältnisse**

### **Lockergesteine**

Die Grundwasserflussrichtung im Lockergesteinsaquifer wird massgebend von der Topographie, der hydraulischen Durchlässigkeit der Lockergesteine und der Nutzung des Davoser Sees beeinflusst (Absenkung des Wasserspiegels im Winter um bis zu 30 m). Die Lockergesteine im Talgrund sind ein bedeutender Grundwasserleiter.

### **Schiahorn-Decke**

Auch im Kluftaquifer der Schiahorn-Decke wird die Grundwasserflussrichtung massgebend von der Topographie, der hydraulischen Durchlässigkeit der Festgesteine sowie den Störungs-, Bruch- und Kluftzonen beeinflusst. Infiltration findet vornehmlich auf Kulminationen und an Talflanken, Exfiltration vornehmlich in Depressionen statt [14]. Die Schiahorn-Decke ist ein bedeutender Grundwasserleiter.

### **Hydrogeologische Modellvorstellung**

Die kristallinen Gesteine der Silvretta-Decke und diejenigen des Rothorn-Schafläger-Dorfberg-Deckenkomplexes wirken grossflächig als Grundwasserstauer, die sedimentären Gesteine der Schiahorn-Decke als Grundwasserleiter (Kluftaquifer der Schiahorn-Decke) und die mächtigen Lockergesteinsablagerungen im Landwassertal mutmasslich als Vorfluter [14].

Aufgrund des regionalen Einfallens der Gesteinsschichten in Richtung S bis SE sowie der Lage der hydraulisch besser durchlässigen Schiahorn-Decke unter der hydraulisch schlechter durchlässigen Silvretta-Decke und der gering bis sehr gering hydraulisch durchlässigen Moräne ist das im Kluftaquifer der Schiahorn-Decke vorhandene Grundwasser grossräumig gespannt. Bei artesisch gespannten Grundwasserhältnissen reicht das Druckpotenzial über Terrain (vor allem Talmitte; Wasserdruck bis zu 2-3 bar), bei gespannten Grundwasserhältnissen liegt das Druckpotenzial unter Terrain.

### **3. Projektbesonderheiten**

#### **3.1 Projektphasen und Ziele**

Die Umsetzung des Pilotprojektes erfolgte über mehrere Jahre in verschiedenen Teilprojekten. Der Projektverlauf ist in Anhang 1 in verschiedene Projektphasen gegliedert.

Die Ziele des Projektes waren Grundlagen zu schaffen und das geothermische Nutzungspotenzial aufzuzeigen um im Erfolgsfalle Folgeprojekte zu ermöglichen.

#### **3.2 Grundwasserrückgabe**

Eine Besonderheit des Projektes ist die Rückgabe des thermisch genutzten Grundwassers in ein Oberflächengewässer. Eine Rückgabe in den Kluftaquifer wurde aufgrund technischer, energetischer und wirtschaftlicher Gründe nicht angestrebt. Für die Rückgabe in den Aquifer der Schiahorn-Decke müsste eine zweite Bohrung erstellt und das geförderte Wasser mit hohem energetischem Aufwand wieder in den Aquifer gepresst werden.

In Anbetracht dieser Art der Nutzung (und auch weiterer Nutzungen) erlangen daher Aspekte wie Neubildung und Schutz, nachhaltige Bewirtschaftung und qualitative Beschaffenheit der verfügbaren Grundwasserressourcen eine zentrale Bedeutung.

#### **3.3 Zeitpunkt der Modellierungen**

Im Geothermieprojekt Davos wurden Konzeptmodelle, räumliche Modelle und numerische Modelle erstellt und angewandt. Sie sind bei der Realisierung komplexer Geothermieprojekte mit unsicherer Datenlage wichtig bis unerlässlich. Die Modelle stellen jedoch immer eine Abstraktion und Vereinfachung der Wirklichkeit dar.

Das geologische und hydraulische Modell konnten aufgrund spärlich vorhandener Daten erst mit den Ergebnissen aus dem Testbetriebs erstellt werden. Bei ausreichender Datenlage können/sollen entsprechende Modelle jedoch auch bereits in der Phase der Vorstudie erstellt werden.

#### 4. Angewandte Methoden

Beim Geothermieprojekt Davos wurden u.a. die in Tabelle 1 aufgeführten und in Beilage 1 zusammengestellten Methoden angewendet. In Beilage 1 wurden die Methoden zudem bezüglich Kosten, Bedeutung für das Projekt und Nutzen für Folgeprojekte beurteilt. Auf die Beschreibung der Methoden wird hier verzichtet, diese können der Fachliteratur entnommen werden. Es sollen stattdessen die gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse dokumentiert und für vergleichbare Projekte nutzbar gemacht werden.

Tabelle 1: Auswahl angewandter Methoden im Geothermieprojekt Davos.

Methode			
M1	Grundlagenstudium	M9	Pumpversuche
M2	Konzeptmodell	M10	Wasserchemie
M3	Seismische Messungen	M11	Isotopengeochemie
M4	Sondierbohrung	M12	Abflussmessungen
M5	Borehole-Viewer	M13	Thermodynamisches Mischungsverhältnis
M6	Bohrlochgeophysik	M14	Geologische 3D Modellierung
M7	Grundwassermonitoring Lockergestein	M15	Hydraulische 3D Modellierung
M8	Grundwassermonitoring Fels		

Einzelne Methoden kommen in verschiedenen Projektphasen zur Anwendung. Die Anwendung ist abhängig von den Fragestellungen sowie dem geforderten Tiefgang der Bearbeitung in den einzelnen Projektphasen und der Projektentwicklung.

## 5. Fazit

Beim Geothermieprojekt Davos handelt es sich um ein innovatives, erfolgreiches Pilotprojekt im Bereich der mitteltiefen Geothermie. Da zu Projektbeginn nur sehr geringe Kenntnisse des Untergrundes vorhanden waren, wurde ein schrittweises Vorgehen gewählt, um die Projektrisiken möglichst klein zu halten. Die Vielzahl und Bearbeitungstiefe der angewandten Methoden über einen Zeitraum von 10 Jahren ist vergleichsweise hoch, dadurch konnte jedoch eine solide Wissensbasis geschaffen werden, die als Grundlage dient für die nachhaltige Bewirtschaftung (Erschliessung erneuerbare Energiequelle, Interesse Gemeinde), für eine fundierte Bewilligungspraxis (Interesse Bewilligungsbehörde / Kanton) sowie als Nachweis der Nutzbarkeit eines solchen mitteltiefen hydrothermalen Projektes für Gemeinden im alpinen Raum (Förderung erneuerbare Energie Geothermie, Interesse Bund).

In der Gemeinde Davos konnte aufgrund der verbesserten Untergrundkenntnisse, des Nachweises der Nutzungsmöglichkeit sowie des erprobten Bewilligungsverfahrens bereits ein neuer Investor gefunden werden und eine weitere vergleichbare, geothermische Bohrung für einen Wärmeverbund realisiert werden (Projekt Wärmeverbund Arkaden der Elektrizitätswerke Davos AG, geplanter Start Betrieb 2020). Durch die Zusammenstellung der gewonnen Erkenntnisse sollen auch andere Gemeinden und Investoren ermutigt werden geothermische Projekte im alpinen Raum zu lancieren. Die Übertragbarkeit der eingesetzten Methoden muss für neue Projekte jeweils im Einzelfall geprüft werden. Die Zusammenstellung der Methoden gibt jedoch eine Hilfestellung zu relevanten Fragestellungen passende Methoden zu finden und welche Resultate und Kosten erwartet werden können.

## **Anhang 1    Überblick der angewandten Methoden**

SIA PHASEN		PROJEKTPHASEN DAVOS	FRAGESTELLUNGEN	METHODEN		AUSSAGEN FÜR PROJEKT	KOSTEN <sup>1</sup>
SIA Phase	SIA Teilphase	Pilotprojekt Kurpark	Zu beantwortende Fragen	Nr	Name	Durch Methoden gewonnene Erkenntnisse	[CHF]
<b>1 Strategische Planung</b>	11 Bedürfnisformulierung Lösungsstrategien	<b>2009</b> Projektidee, Projektentwicklung	Geologisches und hydrogeologisches Modell Potenzielle Nutzungsmöglichkeiten und Nutzungsarten	M1 M2	Grundlagenstudium Konzeptmodell	Grobes Systemverständnis, erwartetes Schichtenprofil und Tiefenlage Aquifer, Schätzung Wasserangebot und Wassertemperatur	25'000
<b>2 Vorstudien</b>	21 Definition des Bauvorhabens, Machbarkeitsstudie	<b>2009</b> Erarbeitung Untersuchungskonzept <b>2009</b> Fördergesuch (Bund & Kanton)	Grobe Projektkosten (Wirtschaftlichkeit, finanzielles Risiko) Projektfinanzierung (Investoren, Fördermöglichkeiten)			Projekt finanziert durch Gemeinde Davos mit finanzieller Unterstützung von Bund und Kanton	25'000
		<b>2016-2018</b> Modellierungen* <b>2019</b> Nutzungskonzept*	<i>Veranschaulichung der Geologie, Prognose der geologischen Verhältnisse Hydrogeologisches Einzugsgebiet, Auswirkungen auf Aquifer, Bewilligungs- und Bewirtschaftungstool</i>	M14 M15	<i>Geologische 3D Modellierung Hydraulische 3D Modellierung</i>	<i>Verbesserte geologische Übersicht, Grundlage für z.B. hydraulische (und thermische) Modellierung Synthese der gesammelten hydraulischen Erkenntnisse, Erwartete Auswirkungen neuer Anlagen (Grundlage für Bewilligungen), erwartete Fließwege Quantifizierung Grundwasserdargebot, Wärmenutzungspotenzial</i>	300'000
	22 Auswahlverfahren	<b>2010</b> Variantenstudium	Abnehmerpotenzial, Platzverhältnisse, Geologische und hydrogeologische Verhältnisse, Standortwahl		[GIS-Analyse]	Bohrstandort im Kurpark Davos (Platzangebot) mit potenzieller Einbindung in bereits bestehenden Wärmeverbund und vorhandene Infrastruktur (Abnehmer).	15'000
<b>3 Projektierung</b>	31 Vorprojekt	<b>2010</b> Standortuntersuchungen Bohrausschreibung & Vergabe	Standortuntersuchungen und Standortoptimierung, Bohrbewilligung, Bohrausschreibung, Präzisierung Projektkosten	M3	Seismische Messungen	Identifikation der Grenze Lockergestein / Fels, Aussagen zu Schichtmächtigkeiten, zum Schichteinfallen sowie zum Vorkommen, dem Abstand und der Persistenz von Bruch- / Störungszonen	100'000
	32 Bauprojekt	<b>2012</b> Erkundungsbohrung Bohrlochuntersuchungen & Aquifertests	Erschliessungsmöglichkeiten, Nachweis / Charakterisierung Grundwasserleiter, Umgang mit Projektrisiken (Fündigkeit, Bohrtechnik, Bewilligung)	M4	Sondierbohrung	Gesicherter Schichtenverlauf, artesischer Wasserausfluss, direkte Nutzung der Erkundungsbohrung als Förderbrunnen	500'000
				M5	Borehole-Viewer	Bohrlochverlauf, Orientierung von Strukturen (Schichten, Klüfte), Kluffüllungen, potenzielle Wasserzutritte, Zustand Bohrlochwand (Ausbrüche)	15'000
				M6	Bohrlochgeophysik	Nachweis / Abnahme Abdichtung Übergang Lockergestein / Fels, Lokalisierung Wasserzutrittszonen (Hauptzutritt 248-251 m), Quantifizierung Wasserzutritte, Wassertemperatur (11.3 °C, Gradient 2.7 °C/100 m), Zunahme der Mineralisation mit der Tiefe, Abschnitte mit hohem Tongehalt im Lockergestein und ab 356 m im Fels (Indikator für geringere hydraulische Durchlässigkeit v.a. im Lockergestein)	20'000
				M7	Grundwassermonitoring Lockergestein	Keine Beeinflussung des Lockergesteinsaquifers durch die Pumpversuche	15'000
				M8	Grundwassermonitoring Fels	Geringfügige Beeinflussung einer bestehenden Nutzung, keine Beeinflussung Felsquelle, Schwankungen Druckverhältnisse im Jahresverlauf (z.B. Einfluss Schneeschmelze & Niederschläge)	5'000
				M9	Pumpversuche	Hydraulische Transmissivität des Aquifers (ca. $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ), Absenktrichter, Aquiferverhalten (steady state), natürlicher artesischer Auslauf ca. 1'200 l/min, realisierbare Förderrate mit Pumpe ca. 2'000 l/min	30'000
				M10	Wasserchemie	Chemische Zusammensetzung (MgCa(NA)HCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> ), Nachweis technische Eignung für Wärmepumpenbetrieb, Erfüllung Anforderung Einleitung Oberflächengewässer, Trend Wasserchemie (Mischwasser)	5'000
	33 Bewilligungsverfahren / Auflageprojekt	<b>2013</b> Auswertung, Beurteilung, Berichterstattung	Art und Potenzial der Nutzung, Wirtschaftlichkeit, Wasserrückgabe (Aquifer, Oberflächengewässer), Beeinflussung bestehender Nutzungen, Einhaltung der Umweltauflagen (Verunreinigung von Gewässern, Verbindung unterschiedlicher Grundwasserleiter)		[Synthesebericht]	Gute Übereinstimmung mit Prognose (Schichtprofil, Wasserdargebot), Wassertemperatur niedriger als erwartet, Auflagen der Bohrbewilligung eingehalten (z.B. keine hydraulische Verbindung zwischen Lockergesteins- und Felsaquifer), Wasserdargebot ausreichend für eine Nutzung in der Grössenordnung von 2'000 l/min bei maximalem ΔT von ca. 10 K, theoretische Leistung ca. 1'750 kW	50'000
<b>4 Ausschreibung</b>	41 Ausschreibung, Offertvergleich, Vergabe	(Ausschreibung Bohrung in SIA Phase 3 erfolgt)					-

Legende: <sup>1</sup> Grobe Kostenzusammenstellung aus Projekt Davos, [...] nicht Bestandteil des Berichtes,  
\* nach Pilotprojekt ausgeführt, k.A. keine Angabe

SIA PHASEN		PROJEKTPHASEN DAVOS	FRAGESTELLUNGEN	METHODEN		AUSSAGEN FÜR PROJEKT	KOSTEN <sup>1</sup>
SIA Phase	SIA Teilphase	Pilotprojekt Kurpark	Zu beantwortende Fragen	Nr	Name	Durch Methoden gewonnene Erkenntnisse	CHF
5 Realisierung	51 Ausführungsprojekt	(Bohrung in SIA Phase 3 erfolgt)					-
	52 Ausführung	2016 Pumpeneinbau [Leitungsbau, Heizzentrale]	Einbautiefe Förderpumpe, Erhöhung Betriebsdruck, Wirtschaftlichkeit	M9 M10	Pumpversuche Wasserchemie	Bestimmung der erwarteten Absenkung des Druckspiegels und damit Ermittlung Einbautiefe der Förderpumpe, Angaben zum Pumpentyp (Förderhöhe, Betriebsdruck), verwendbare Materialien (Wasserchemie)	5'000
	53 Inbetriebnahme, Abschluss	2014 Fördergesuch (Bund & Kanton) 2014-2017 Testbetrieb	Erweitertes Systemverständnis, Eigenschaften und Dynamik des Reservoirs (Typ, Grösse, Schwankungen), Transmissivität, Druckverhältnisse, Grundwasserneubildung, Herkunft / Alter / Chemismus des Grundwassers	M4	Sondierbohrung	Erschliessung des Aquifers und Erstellung von 3 zusätzlichen Grundwassermessstellen für Versuche und somit Grundlage für die nachfolgenden Methoden	100'000
				M8 M9	Grundwassermonitoring Fels Pumpversuche	Sicherstellung des nachhaltigen Betriebs, Dokumentation der Auswirkungen auf bestehende Nutzungen, Räumliche Ausdehnung der Absenkung des Wasserdrucks durch die Wasserentnahme in der Erkundungsbohrung (Grundlage für M15), weitverbundener Kluftaquifer, sehr schnelle Absenkung und sehr schnelle Reaktion des Aquifers (Absenkung & Wiederanstieg des Wasserdrucks, langsame Reaktion des Aquifers in den Überwachungsbohrungen, hydraulische Transmissivität ca. $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , natürliche Druckschwankungen im Aquifer ca. 4.5 m im Jahresverlauf	75'000
				M10	Wasserchemie	Andere Zusammensetzung und Mineralisation des Grundwassers zeigen unterschiedliche Herkunft, Fließwege und Verweildauer des Wassers an, Änderungen der Wasserchemie mit zunehmender Wasserförderung (Trend) geben Hinweise auf die Entwicklung des Systems im Langzeitbetrieb, Förderung von zunehmend höher mineralisiertem Grundwasser (längere Verweilzeit im Untergrund), Wasser weist leichten Geruch nach Schwefelwasserstoff auf	15'000
				M11	Isotopengeochemie	Aussagen zur Höhe des Einzugsgebiets für jede Messstelle, zum Einzugsgebiet des gesamten Aquifers und somit zur Reservoirgrösse und zu erwarteten Fließwegen, relative Aussagen zum Wasseralter: Mischwasser aus jungem tritiumreichen und älterem tritiumarmen Wasser, Hinweis auf die Entwicklung des Systems im Langzeitbetrieb aufgrund Änderungen der Isotopie mit zunehmender Wasserförderung (Trend), Förderung von zunehmend älterem tritiumarmen Grundwasser	40'000
				M12	Abflussmessungen	Aussagen zum oberflächlichen Abfluss im Einzugsgebiet, Abflusscharakteristik im Jahresverlauf, Grundlage für M13	25'000
				M13	Thermodynamisches Mischungsverhältnis	Rechnerischer Nachweis der Einhaltung der Einleitbedingungen in Oberflächengewässer (Temperaturanforderungen)	10'000
				M6	Bohrlochgeophysik	Nachweis Abdichtung Übergang Lockergestein / Fels in den Überwachungsbohrungen, Identifikation der Wasserzutritte mit Tiefenlage (diskrete Zutritte), Charakterisierung Kluftaquifer	15'000
			2017 Auswertung, Beurteilung, Berichterstattung	Einhaltung der Umweltauflagen, Gewährleistung natürlicher Wasserhaushalt, Erhaltung Grundwasservorkommen, Einhaltung Einleitbedingungen in Oberflächengewässer		[Synthesebericht]	Dokumentation des Betriebs mit Förderpumpe, maximal realisierte Förderrate ca. 1'630 l/min, Absenkung ca. 37 m, hydraulische Transmissivität ca. $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , maximale, rechnerische Ausdehnung Absenktrichter ca. 1'000 m, natürliche Druckschwankungen im Aquifer ca. 4.5 m im Jahresverlauf Rechnerischer Nachweis der Einhaltung der Einleitbedingungen in Oberflächengewässer (Temperaturanforderungen), Empfehlungen für die Optimierung des Betriebs durch höheren Energieentzug, z.B. $\Delta T 8 \text{ K}$ statt $\Delta T 3 \text{ K}$ , (Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit), evtl. weitere Abklärungen zum Schwefelwasserstoffgeruch und zur Wasseraufbereitung nötig, Bemessung der maximalen Förderrate / Anzahl Nutzungen durch Grundwasserneubildung, Positionierung von Anlagen Anlagendesign (mit / ohne Rückführung des thermisch genutzten Grundwassers in den Untergrund)
6 Bewirtschaftung	61 Betrieb	2018 [Regulärer Betrieb]				k.A.	
	62 Überwachung / Überprüfung / Wartung	Ab 2018 Langzeitüberwachung	Sicherstellung langfristige, nachhaltige Reservoirnutzung, Gewährleistung der Einhaltung der Umweltauflagen	M8	Grundwassermonitoring Fels	Dokumentation der langfristigen Entwicklung der Druckverhältnisse im Aquifer (Ergebnisse ausstehend)	5'000/a
	63 Instandhaltung	[Unterhalt]				k.A.	

Legende: <sup>1</sup> Grobe Kostenzusammenstellung aus Projekt Davos, [...] nicht Bestandteil des Berichtes, \* nach Pilotprojekt ausgeführt, k.A. keine Angabe

**Gesamtkosten Methoden (Planung, Durchführung, Auswertung, Berichterstattung)** ca. 1'500'000

**Gesamtbausumme (Gesamtkosten Methoden, Leitungen, Schächte, Anpassungen Heizzentrale, etc.)** ca. 2'000'000

---

**Beilage Nr. 1 zu Bericht Nr. 2618075.1**

---

## **Methodenblätter**

# **Davos, Fallstudie Geothermieprojekt**

## **Inhaltsverzeichnis**

M1	Grundlagenstudium
M2	Konzeptmodell
M3	Seismische Messungen
M4	Sondierbohrung
M5	Borehole-Viewer
M6	Bohrlochgeophysik
M7	Grundwassermonitoring Lockergestein
M8	Grundwassermonitoring Fels
M9	Pumpversuche
M10	Wasserchemie
M11	Isotopengeochemie
M12	Abflussmessungen
M13	Thermodynamisches Mischungsverhältnis
M14	Geologische 3D Modellierung
M15	Hydraulische 3D Modellierung
	Übersichtstabelle Bewertung Methoden

Davos, 29. November 2019

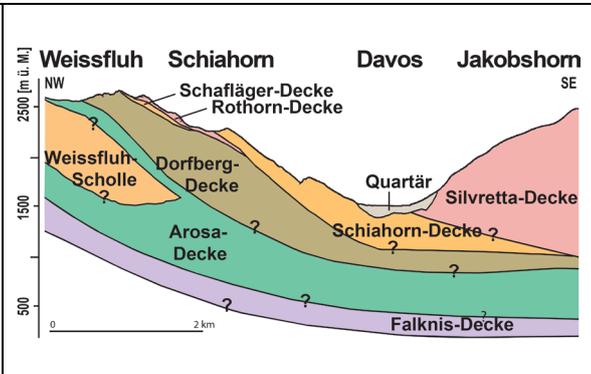
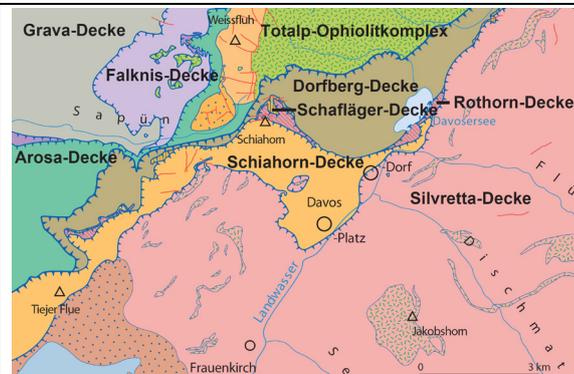
**GEOTEST AG**  
BAHNHOFSTRASSE 8A  
CH-7260 DAVOS DORF  
T +41 (0)81 410 35 00  
F +41 (0)81 410 35 01  
davos@geotest.ch  
www.geotest.ch

<b>SIA Teilphase</b>	<b>11</b>	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
----------------------	-----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

<b>Zielsetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kenntnisse der regionalen Geologie und Hydrogeologie sowie der bisherigen (geothermie-spezifischen) Untersuchungen im angestrebten Tiefenbereich (Stand des Wissens)</li> <li>Identifikation von möglichen Auflagen, Verbotszonen, Randbedingungen</li> </ul>
--------------------	--

<b>Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusammenstellen der relevanten geologischen und hydrogeologischen Daten und Informationen (Karten, Berichte, Publikationen, Profilschnitte, Bohrungen, Untersuchungsergebnisse, etc.)</li> <li>Zeitbedarf: ca. 1 Monat zusammen mit M2 (Beschaffung und Auswertung der relevanten Daten und Informationen)</li> </ul>
-----------------------	--

<b>Auswertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Studium der vorhandenen Fachberichte und Publikationen</li> <li>Lineamentanalyse zur Identifikation von möglichen Bruch-/Störungszonen</li> <li>Auswertung von geologischen Karten (tektonische Karte, geologische Karte, Spezialkarten) und bestehenden geologischen Profilschnitten sowie Untersuchungen</li> <li>Erstellung von zusätzlichen geologischen Profilschnitten</li> <li>Verschnitt verschiedener Themenkarten (z.B. Schutzzonen) zur Ausscheidung möglicher Bohrgebiete (Ausschlussverfahren)</li> <li>Gliederung der geologischen Einheiten nach hydraulischen Kriterien (Grundwasserleiter, -stauer)</li> </ul>
-------------------	--



<b>Erkenntnisse &amp; Nutzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stand des Wissens, offene Fragen und Untersuchungsbedarf bekannt</li> <li>Erwarteter, grober Schichtenverlauf: Mächtigkeit Lockergesteine bis rund 100 m, Mächtigkeit Schiahorn-Decke (Sedimente) und Dorfberg-Decke (Kristallin) je mehrere hundert Meter</li> <li>Lockergesteine als Grundwasserleiter bekannt, Schiahorn-Decke als Grundwasserleiter vermutet, Dorfberg-Decke als Grundwasserstauer vermutet</li> <li>Angaben zum regionalen Schichteinfallen sowie zur Orientierung von Bruch-/Störungszonen</li> <li>Grobauscheidung Untersuchungsperimeter / mögliche Bohrgebiete</li> <li>Identifikation ähnlicher Projekte / Fallstudien</li> </ul>
----------------------------------	--

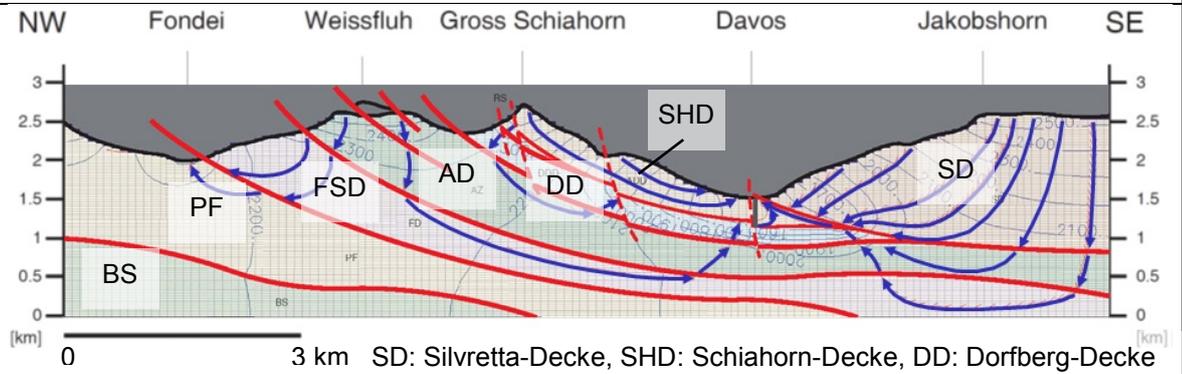
<b>Bewertung</b>	<b>Kosten</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">&lt;25'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffff00; padding: 2px;">&lt;50'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #f4cccc; padding: 2px;">&gt;50'000</div> </div>	<b>Bedeutung im Projekt</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">Unerlässlich</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffff00; padding: 2px;">Wichtig</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #f4cccc; padding: 2px;">Verzichtbar</div> </div>	<b>Nutzen für Folgeprojekte</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">Hoch</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffff00; padding: 2px;">Gering</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #f4cccc; padding: 2px;">Keine</div> </div>
------------------	---	---	--

<b>SIA Teilphase</b>	<b>11</b>	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
----------------------	-----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

<b>Zielsetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grobes hydrogeologisches Systemverständnis</li> <li>Kenntnisse der Nutzungsmöglichkeiten (mitteltiefe Geothermie)</li> <li>Grundlagen zur Erstellung eines Projektes vorhanden (wissenschaftliche, technische und finanzielle Aspekte)</li> </ul>
--------------------	--

<b>Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Auswertung der relevanten geologischen und hydrogeologischen Daten und Informationen</li> <li>Abschätzung der hydraulischen Durchlässigkeiten der verschiedenen geologischen Einheiten</li> <li>Erstellung eines vereinfachten hydraulischen 2D Modells in einem repräsentativen Profilschnitt und Simulation der Grundwasserströmung zur Visualisierung möglicher regionaler Fließwege</li> <li>Plausibilisierung des Fließfeldes mit Erfahrungen aus Bohrungen (v.a. Erdwärmesonden-Bohrungen in der Schiahorn-Decke)</li> <li>Zeitbedarf: ca. 1 Monat zusammen mit M1</li> </ul>
-----------------------	--

<b>Auswertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hydrogeologische und geothermische Interpretation der vorhandenen Grundlagen/Simulation</li> <li>Auswertung bez. möglicher Fließwege, Einzugsgebiete, Druckverhältnisse, möglichem Wasserdargebot und möglicher Wassertemperatur</li> <li>Abschätzung des geothermischen Gradienten und der erwarteten Wassertemperatur in Abhängigkeit von der Tiefe (mit/ohne Berücksichtigung von Bruch-/Störungszonen)</li> <li>Erstellung Konzeptmodell und Nutzungsszenarien</li> </ul>
-------------------	--



<b>Erkenntnisse &amp; Nutzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifikation von Zielhorizonten und Grobabschätzung Wasserdargebot</li> <li>Silvretta-Decke und Dorfberg-Decke wirken als Grundwasserstauer, Schiahorn-Decke wirkt als Grundwasserleiter</li> <li>Grundwasser in Schiahorn-Decke ist im Stadtgebiet gespannt bis artesisch gespannt</li> <li>Abschätzung des geothermischen Gradienten und der erwarteten Wassertemperatur</li> <li>Grobkonzept der möglichen Nutzungsart mit Varianten zur Wasserförderung und -rückgabe</li> <li>Grobkostenschätzung und Wirtschaftlichkeit</li> </ul>
----------------------------------	---

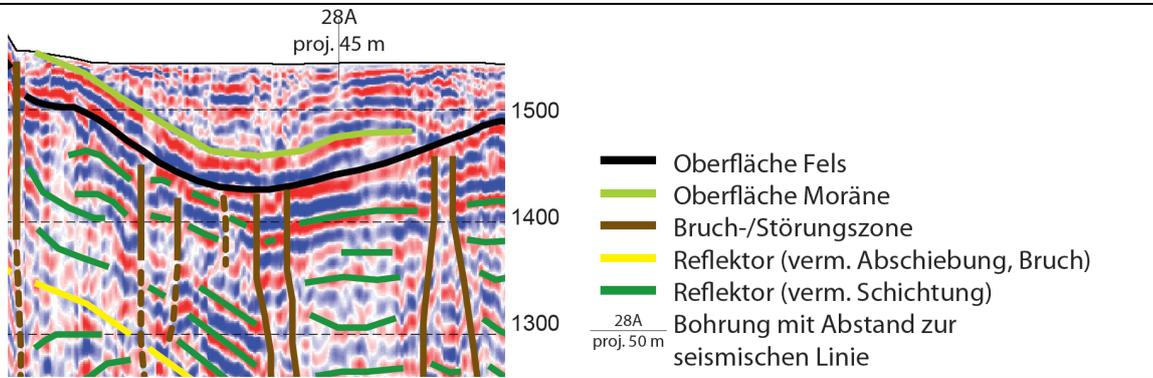
<b>Bewertung</b>	<b>Kosten</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #90EE90; padding: 2px; text-align: center;">&lt;25'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #FFFF00; padding: 2px; text-align: center;">&lt;50'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #FF6347; padding: 2px; text-align: center;">&gt;50'000</div> </div>	<b>Bedeutung im Projekt</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #90EE90; padding: 2px; text-align: center;">Unerlässlich</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #FFFF00; padding: 2px; text-align: center;">Wichtig</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #FF6347; padding: 2px; text-align: center;">Verzichtbar</div> </div>	<b>Nutzen für Folgeprojekte</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #90EE90; padding: 2px; text-align: center;">Hoch</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #FFFF00; padding: 2px; text-align: center;">Gering</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #FF6347; padding: 2px; text-align: center;">Keine</div> </div>
------------------	---	---	--

SIA Teilphase	11	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
---------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

<b>Zielsetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ermittlung der Lockergesteinsmächtigkeit und der Grenze Lockergestein/Fels als Grundlage für die Dimensionierung der Bohrung (Bohrdurchmesser, Rohrtouren, Bohrausschreibung, etc.)</li> <li>Ermittlung der Geschwindigkeiten seismischer Wellen im Fels und der Felsstrukturen (Schichten, Bruch-/Störungszonen) als Hinweis für möglicherweise erhöhte Wasserwegsamkeiten</li> </ul>
--------------------	---

<b>Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hochauflösende seismische Untersuchungen entlang von 2 Talquerprofilen NW-SE:              Profil Kurpark: Länge 1280 m, Tiefe 600 m              Profil Guggerbach: Länge 1620 m, Tiefe 600 m</li> <li>Aktive Auslage &gt; 600 Kanäle, Geophonabstand 2 m, Schussabstand 8 m</li> <li>Impulsanregung innerorts mit Fallgewicht, ausserorts mittels Kleinsprengungen</li> <li>Zeitbedarf Datenakquisition ca. 1 Woche / Profil, Zeitbedarf Auswertung ca. 2-4 Wochen</li> </ul>
-----------------------	--

<b>Auswertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spezifisches, ingenieurseismisches Processing</li> <li>Deutlicher, über das ganze Profil reichender Reflektor als Grenze Lockergestein / Fels. interpretiert, Tiefenlage und Topographie der Felsoberfläche im Profil erkennbar</li> <li>Vertikale Versätze von Reflektoren als Bruch-/Störungszone interpretiert</li> <li>Suche nach Bohransatzpunkt im Ausschlussverfahren:              Bereiche mit homogener Schichtlagerung ohne deutlich ausgebildeten Bruch- / Störungszonen weisen auf ungestörte Geologie hin mit geringer Erfolgsaussicht auf Wasserführung              Bereiche mit heterogener Schichtlagerung und deutlich ausgebildeten Bruch-/Störungszonen weisen auf gestörte Geologie hin mit guter Erfolgsaussicht auf Wasserführung</li> </ul>
-------------------	---



<b>Erkenntnisse &amp; Nutzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximale Mächtigkeit der Lockergesteine im Profil Kurpark 100 m, im Profil Guggerbach 140 m</li> <li>Mächtigkeit der Schiahorn-Decke (potenzieller Kluftaquifer) mehrere 100 m</li> <li>Vertikale bis leicht geneigte Brüche / Bruchzonen über mehrere 100 m erkennbar (potenzielle Wasserwegsamkeiten mit möglicherweise aufsteigendem Grundwasser)</li> <li>Seismischer Hinweis zur optimalen Festlegung des Bohransatzpunktes und der Bohrtiefe</li> <li>Übertragbarkeit der gewonnenen Resultate bez. Gebirgsaufbau und vorhandener Strukturen auf die gesamte Schiahorn-Decke im Stadtgebiet möglich</li> <li>Verlauf der Felsoberfläche als Grundlage für geologische und hydraulische Modelle</li> <li>Untergrenze Schiahorn-Decke nicht eindeutig erkennbar</li> </ul>
----------------------------------	---

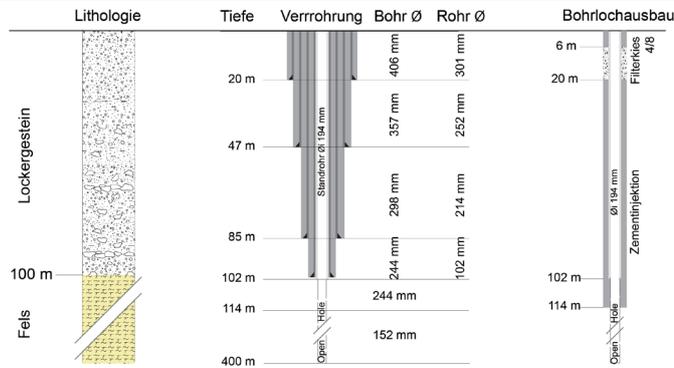
<b>Bewertung</b>	<b>Kosten</b> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; background-color: #c8e6c9;">&lt;25'000</td> <td style="width: 33%; background-color: #fff176;">&lt;50'000</td> <td style="width: 33%; background-color: #ffcdd2;">&gt;50'000</td> </tr> </table>	<25'000	<50'000	>50'000	<b>Bedeutung im Projekt</b> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; background-color: #c8e6c9;">Unerlässlich</td> <td style="width: 33%; background-color: #fff176;">Wichtig</td> <td style="width: 33%; background-color: #ffcdd2;">Verzichtbar</td> </tr> </table>	Unerlässlich	Wichtig	Verzichtbar	<b>Nutzen für Folgeprojekte</b> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; background-color: #c8e6c9;">Hoch</td> <td style="width: 33%; background-color: #fff176;">Gering</td> <td style="width: 33%; background-color: #ffcdd2;">Keine</td> </tr> </table>	Hoch	Gering	Keine
<25'000	<50'000	>50'000										
Unerlässlich	Wichtig	Verzichtbar										
Hoch	Gering	Keine										

<b>SIA Teilphase</b>	11	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

<b>Zielsetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erkundungsbohrung: Aufschluss des Untergrundes, Erschliessung des Aquifers</li> <li>Überwachungsbohrungen: Aufschluss des Untergrundes, Erstellung von Messstellen im Fels</li> </ul>
--------------------	--

<b>Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abteufen der Sondierbohrung (Spülbohrung), teilweise im Rotary- (lockerer, körniger Untergrund) und teilweise im Imlochhammer-Verfahren (harter, bindiger Untergrund, Fels)</li> <li>Stabilität der Bohrung im Lockergestein durch mitgeführte Rohrtour (Ø 406 bis 244 mm) gewährleistet, Bohrung im Fels ohne Verrohrung (Ø 244 bis 152 mm)</li> <li>Mächtigkeit Lockergestein 100 m, Mächtigkeit Fels 300 m,</li> <li>Dauer für Bohrarbeiten im Lockergestein 25 Tage, im Fels 19 Tage, Dauer für Einbau Standardrohr (Ø 194 mm) inkl. Wartezeit 13 Tage</li> <li>Abteufen von 3 Überwachungsbohrungen (Tiefe ca. 150 m) im Umkreis der Erkundungsbohrung (Zeitbedarf ca. 2 Wochen)</li> </ul>
-----------------------	---

<b>Auswertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aufnahme der Bohrung mittels Cuttings</li> <li>Lockergesteine: Deckschicht 0-4 m, Delta- und Seeablagerungen 4-63 m, Moräne 63-100 m</li> <li>Fels: grauer bis schwarzer, mikritischer Dolomit mit unterschiedlichen Anteilen an Calcit 100-400 m, ab 360 m tonhaltig</li> <li>Basis der Schiahorn-Decke nicht erreicht</li> <li>Festgestellte Wasserzutritte in Tiefen von 150-160 m, 190-200 und 250-260 m</li> <li>Gemessener maximaler Wasserdruck 2.6 bar (artesischer Ausfluss von ca. 1'200 l/min)</li> </ul>
-------------------	---



<b>Erkenntnisse &amp; Nutzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Im Fels keine Verrohrung erforderlich aufgrund der Stabilität der Bohrlochwand</li> <li>Aquifer der Schiahorn-Decke im zentralen Bereich des Landwassertales artesisch gespannt mit einem Wasserdruck &lt; 3 bar</li> <li>Wasserzutritte eher im oberen Bereich der Bohrstrecke im Fels weisen auf eine abnehmende Transmissivität mit der Tiefe hin</li> <li>Erkundungsbohrung ohne weiteren Ausbau direkt als Förderbrunnen nutzbar und damit als Wärmequellen in den Wärmeverbund Eisstadion/Kongresszentrum integrierbar</li> </ul>
----------------------------------	--

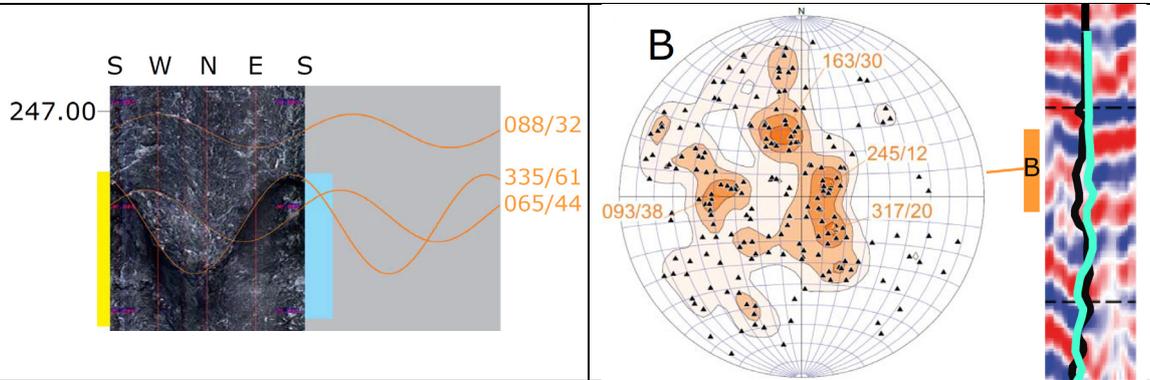
<b>Bewertung</b>	<b>Kosten</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span style="background-color: #5cb85c; padding: 2px 5px;">&lt;25'000</span> <span style="background-color: #ffc107; padding: 2px 5px;">&lt;50'000</span> <span style="background-color: #dc3545; padding: 2px 5px;">&gt;50'000</span> </div>	<b>Bedeutung im Projekt</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span style="background-color: #5cb85c; padding: 2px 5px;"><del>Unerlässlich</del></span> <span style="background-color: #ffc107; padding: 2px 5px;">Wichtig</span> <span style="background-color: #dc3545; padding: 2px 5px;">Verzichtbar</span> </div>	<b>Nutzen für Folgeprojekte</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span style="background-color: #5cb85c; padding: 2px 5px;">Hoch</span> <span style="background-color: #ffc107; padding: 2px 5px;"><del>Gering</del></span> <span style="background-color: #dc3545; padding: 2px 5px;">Keine</span> </div>
------------------	--	---	--

SIA Teilphase	11	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
---------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

<b>Zielsetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ermittlung von Bohrlochverlauf, Bohrlochstabilität, Trennflächengefüge (Schichtung, Klüftung)</li> </ul>
--------------------	---

<b>Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Messung des Bohrlochverlaufs mit Orientierungsmodul, Richtung- und Neigungsmessung im Bereich der Verrohrung nicht brauchbar (magnetisch beeinflusst)</li> <li>Optischer Bohrlochscan (Bohrlochwand)</li> <li>Durchführung der Messungen nach Klarspülung der Bohrung</li> <li>Dauer der Messungen/Aufnahmen ca. 1 Tag, Auswertung ca. 1 Woche</li> </ul>
-----------------------	--

<b>Auswertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aufzeichnung der Bohrlochvermessung im Horizontal- und Vertikalverlauf (N-S &amp; W-O Schnitt)</li> <li>Bestimmung von Fallazimut und Einfallswinkel der Trennflächen (Schichten, Klüfte) auf abgewinkelten Bildern der Bohrlochwand</li> <li>Statistische Auswertung von &gt; 1'200 gemessenen Trennflächen, aufgeteilt auf 7 Bohrabschnitten und Vergleich mit Orientierung von Reflektoren aus Seismogramm</li> <li>Entwicklung eines Borehole-Viewers zur besseren Darstellung der vorhandenen Bilddaten und zur interaktiven Befahrung der Bohrung</li> </ul>
-------------------	---



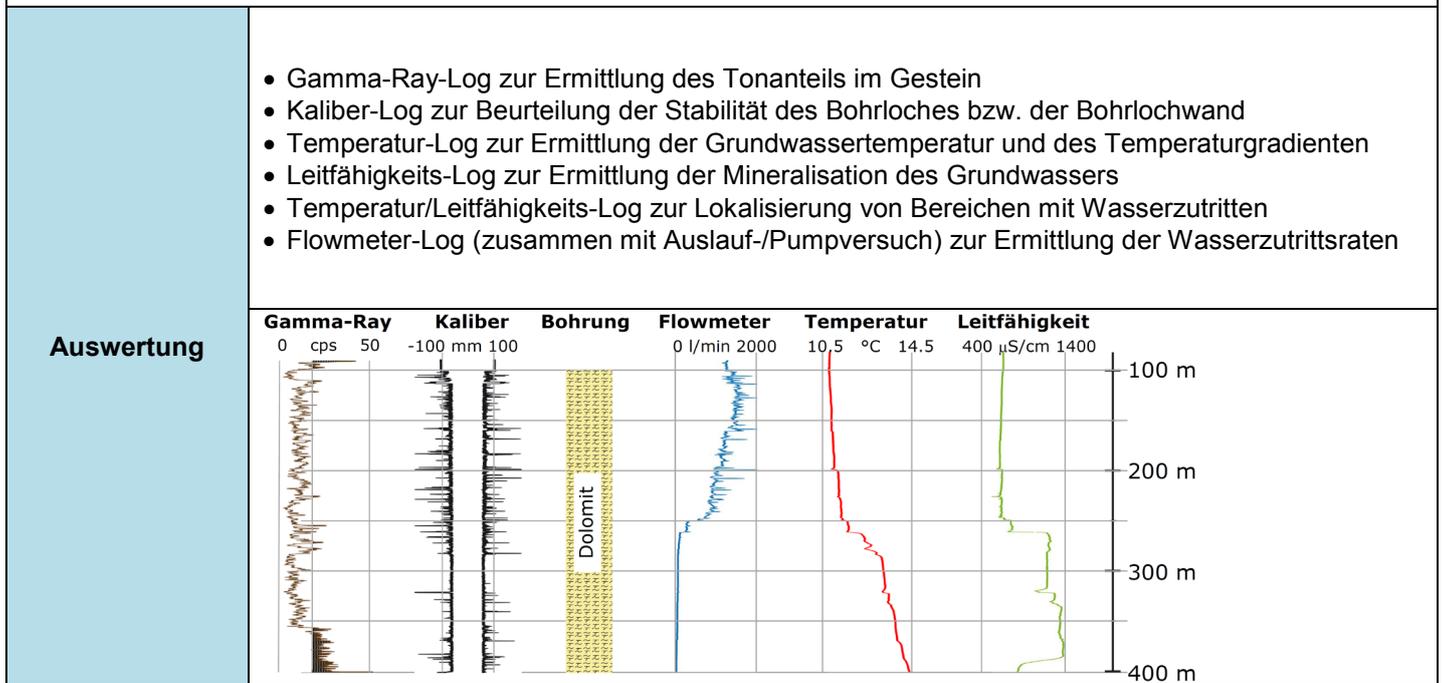
<b>Erkenntnisse &amp; Nutzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abweichung von der Lotrechten zwischen Anfang Felsstrecke und Endtiefe &lt; 7 m</li> <li>Mittleres Einfallen der Schichten 130°/35°, untergeordnet 225°/31° und 005°/20°</li> <li>Mittleres Einfallen Klufschare 080°/55°, 345°/65° und 028°/65°</li> <li>Vertiefte Auswertung der Geologie (Verkarstung, etc.), der Strukturen und des Zustandes der Bohrlochwand durch die Möglichkeit der Betrachtung des Bohrlochs und aus allen Raumrichtungen (Raumeffekte)</li> <li>Keine Verkarstung erkennbar, Schiahorn-Decke als Kluftaquifer ausgebildet</li> <li>Im unterer Bereich der Bohrung kalzitverfüllte Klüfte</li> </ul>
----------------------------------	---

<b>Bewertung</b>	<b>Kosten</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #c8e6c9; padding: 2px;">&lt;25'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #fff9c4; padding: 2px;">&lt;50'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffcdd2; padding: 2px;">&gt;50'000</div> </div>	<b>Bedeutung im Projekt</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #c8e6c9; padding: 2px;">Unerlässlich</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #fff9c4; padding: 2px;">Wichtig</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffcdd2; padding: 2px; opacity: 0.5;">Verzichtbar</div> </div>	<b>Nutzen für Folgeprojekte</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #c8e6c9; padding: 2px;">Hoch</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #fff9c4; padding: 2px;">Gering</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffcdd2; padding: 2px; opacity: 0.5;">Keine</div> </div>
------------------	---	---	--

SIA Teilphase	11	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
---------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

<b>Zielsetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ermittlung von Bohrlochdimension und –zustand sowie Grundwasserverfügbarkeit und -temperatur</li> <li>• Nachweis der Einhaltung von Umweltauflagen (hydr. Verbindung von Grundwasserleitern)</li> </ul>
--------------------	--

<b>Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchführung folgender Bohrlochmessungen (Logs): Kaliber-Log, Temperatur/Leitfähigkeits-Log, Flowmeter-Log, Gamma-Ray-Log</li> <li>• Durchführung der Bohrlochmessungen bei geschlossenem Bohrloch (artesischer Ausfluss 35 l/min), bei halb offenem Bohrloch (artesischer Ausfluss: ca. 520 l/min) und bei offenem Bohrloch (artesischer Ausfluss ca. 1'200 l/min)</li> <li>• Dauer der Bohrlochmessungen ca. 1-2 Tage pro Einsatz</li> </ul>
-----------------------	---



<b>Erkenntnisse &amp; Nutzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhter Tonanteil im untersten Teil der Bohrung (ab 356 m bis Endtiefe)</li> <li>• Häufigkeit von Klüften/Bohrlochwandausbrüchen im oberen Bereich der Felsstrecke deutlich grösser als im unteren Bereich, mehrmalige Messungen zeigen keine Kaliberveränderungen</li> <li>• Mächtigkeit des Aquifers am Bohrstandort 163 m (Tiefenbereich 100-263 m)</li> <li>• Wasserzutritte erfolgen sowohl diskret über einzelne dominante Klüftzonen (&lt; 10 m) als auch kontinuierlich über weite Bereiche der Bohrung (&gt; 100 m)</li> <li>• Temperatur Mischwasser 11.4 °C, Geothermischer Gradient 2.7 °C / 100 m</li> <li>• Mineralisation des Mischwassers 600-700 µS/cm</li> <li>• Grundlage zur Dimensionierung (Bohrdurchmesser, Bohrtiefe) weiterer Bohrungen/Anlagen</li> </ul>
----------------------------------	---

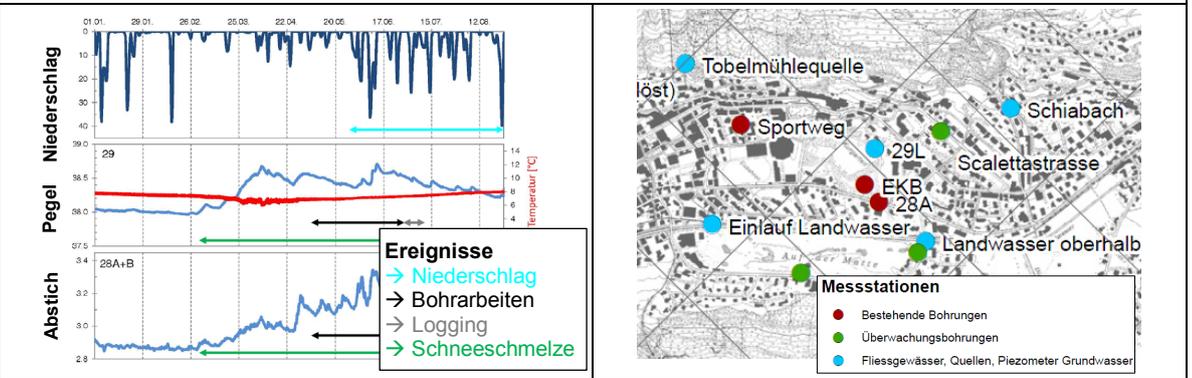
<b>Bewertung</b>	<b>Kosten</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #c8e6c9; padding: 2px;">&lt;25'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #fff9c4; padding: 2px;">&lt;50'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffcdd2; padding: 2px;">&gt;50'000</div> </div>	<b>Bedeutung im Projekt</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #c8e6c9; padding: 2px;">Unerlässlich</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #fff9c4; padding: 2px;">Wichtig</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffcdd2; padding: 2px;">Verzichtbar</div> </div>	<b>Nutzen für Folgeprojekte</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #c8e6c9; padding: 2px;">Hoch</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #fff9c4; padding: 2px;">Gering</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffcdd2; padding: 2px;">Keine</div> </div>
------------------	---	---	--

SIA Teilphase	11	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
---------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

<b>Zielsetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charakterisierung des unbeeinflussten Zustandes (qualitativ und quantitativ)</li> <li>• Überprüfung Beeinflussung des Lockergesteinsaquifers durch die Wasserentnahme aus dem Klufftaquifer für Geothermie (qualitativ und quantitativ)</li> </ul>
--------------------	---

<b>Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Messung des Grundwasserspiegels und der Grundwassertemperatur mit Grundwassersonden (Datenloggern) in den Piezometern 28A+B und 29, bzw. regelmässige Feldmessungen des Grundwasserspiegels in den Piezometern 26 und 28/31</li> <li>• Feldmessungen und Laboranalysen Wasserqualität (siehe M10 und M11)</li> <li>• Zeitbedarf: Ausrüsten Messstelle mit Grundwassersonde &lt; 1 Tag</li> <li>• Messdauer: Mindestens 1 Jahr</li> </ul>
-----------------------	---

<b>Auswertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitreihenanalyse</li> <li>• Einfluss Niederschlag</li> <li>• Einfluss Schneeschmelze</li> <li>• Einfluss Bohrarbeiten und Pumpversuche</li> <li>• Trendbestimmung (Regime im Jahresverlauf)</li> </ul>
-------------------	--



<b>Erkenntnisse &amp; Nutzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natürliche Schwankungen im Jahresverlauf ca. 0.5-1 m und kurzfristige Schwankungen durch Niederschlagsereignisse bis ca. 0.3 m (standortabhängig)</li> <li>• Grundwassertiefstand Ende Winter, Grundwasserhöchststand nach Schneeschmelze</li> <li>• Grundwassertemperatur durchschnittlich ca. 7 °C, Schwankung im Jahresverlauf ca. ± 1 °C (standortabhängig)</li> <li>• Z.T. hydraulische Verbindung mit Landwasser nachweisbar</li> <li>• Keine Beeinflussung des Lockergesteinsaquifers durch die Bohrarbeiten und die Wasserentnahmen / Pumpversuche im Klufftaquifer</li> </ul>
----------------------------------	---

<b>Bewertung</b>	<b>Kosten</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: #d9ead3; padding: 5px; border: 1px solid black;">&lt;25'000</div> <div style="background-color: #ffff00; padding: 5px; border: 1px solid black;">&lt;50'000</div> <div style="background-color: #f4cccc; padding: 5px; border: 1px solid black;">&gt;50'000</div> </div>	<b>Bedeutung im Projekt</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: #d9ead3; padding: 5px; border: 1px solid black;">Unerlässlich</div> <div style="background-color: #ffff00; padding: 5px; border: 1px solid black;">Wichtig</div> <div style="background-color: #f4cccc; padding: 5px; border: 1px solid black;">Verzichtbar</div> </div>	<b>Nutzen für Folgeprojekte</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: #d9ead3; padding: 5px; border: 1px solid black;">Hoch</div> <div style="background-color: #ffff00; padding: 5px; border: 1px solid black;">Gering</div> <div style="background-color: #f4cccc; padding: 5px; border: 1px solid black;">Keine</div> </div>
------------------	---	---	--

<b>SIA Teilphase</b>	11	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

<b>Zielsetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charakterisierung der Aquiferverhältnisse</li> <li>• Überprüfung Beeinflussung des Lockergesteinsaquifers durch die Wasserentnahme aus dem Kluftaquifer für Geothermie</li> </ul>
--------------------	--

<b>Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellung und Betrieb neuer Messstellen (siehe Überwachungsbohrungen M4), Betrieb bestehender Messstellen (28A) sowie Nutzungen (Tobelmühlequelle, Grundwasserwärmenutzung Sportweg)</li> <li>• Messungen in Erkundungsbohrung: Wasserdruck, Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit, Förderrate bzw. natürlicher Ausfluss</li> <li>• Feldmessungen und Laboranalysen (siehe M10 und M11)</li> <li>• Zeitbedarf: Ausrüsten Messstelle mit Grundwassersonde &lt; 1 Tag</li> <li>• Messdauer: 1 bis mehrere Jahre</li> </ul>
-----------------------	--

<b>Auswertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitreihenanalyse</li> <li>• Einfluss Niederschlag</li> <li>• Einfluss Schneeschmelze</li> <li>• Einfluss Bohrarbeiten und Pumpversuche</li> <li>• Trendbestimmung (Regime im Jahresverlauf)</li> <li>• Einfluss Erdgezeiten</li> </ul>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Grundwasserregime</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Einfluss Erdgezeiten</p> </div> </div>

<b>Erkenntnisse &amp; Nutzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwankungen im Jahresverlauf ca. 4.5 m → Gliederung in 3 verschiedene Regime (Winter, Schneeschmelze, Sommer)</li> <li>• Leichter Anstieg der Grundwassertemperatur mit zunehmender Förderdauer während Pumpversuch</li> <li>• Geringfügige Beeinflussung einer bestehenden Nutzung, keine Beeinflussung Felsquelle</li> <li>• Druckabsenkungen durch die Wasserentnahmen (maximal ca. 1'600 l/min) im Radius von ca. 500 m messbar</li> <li>• Einfluss Erdgezeiten sichtbar (Zentimeter-Schwankungen) → grosses Wasservolumen → grossflächig verbundener Aquifer</li> </ul>
----------------------------------	--

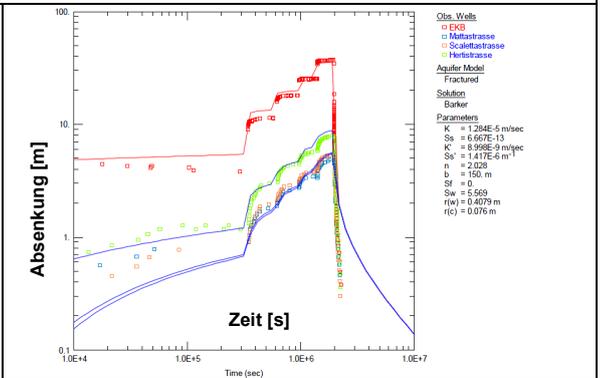
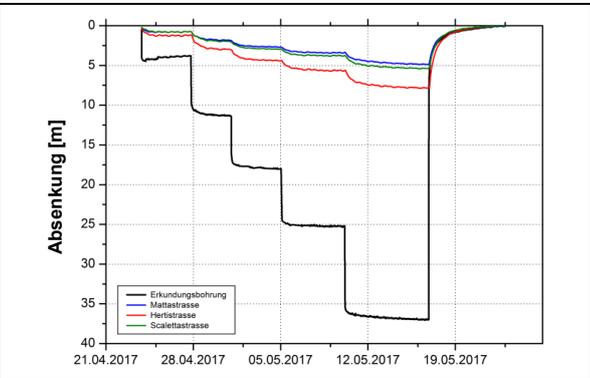
<b>Bewertung</b>	<b>Kosten</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <div style="background-color: #c8e6c9; padding: 5px;">&lt;25'000</div> <div style="background-color: #fff9c4; padding: 5px;">&lt;50'000</div> <div style="background-color: #ffcdd2; padding: 5px;">&gt;50'000</div> </div>	<b>Bedeutung im Projekt</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <div style="background-color: #c8e6c9; padding: 5px;">Unerlässlich</div> <div style="background-color: #fff9c4; padding: 5px;">Wichtig</div> <div style="background-color: #ffcdd2; padding: 5px;">Verzichtbar</div> </div>	<b>Nutzen für Folgeprojekte</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <div style="background-color: #c8e6c9; padding: 5px;">Hoch</div> <div style="background-color: #fff9c4; padding: 5px;">Gering</div> <div style="background-color: #ffcdd2; padding: 5px;">Keine</div> </div>
------------------	--	--	---

SIA Teilphase	11	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
---------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

<b>Zielsetzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charakterisierung Grundwasserleiter (z.B. Grenzeffekte)</li> <li>Ermittlung der realisierbaren Förderrate und der Grundwassertemperatur (Nutzungspotenzial)</li> <li>Dokumentation der Auswirkungen auf bestehende Nutzungen</li> </ul>
--------------------	--

<b>Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Natürlicher Auslauf- und Pumpversuch</li> <li>Stufenpumpversuche (3-6 Stufen): Zeitbedarf ca. 1 Woche bis 1 Monat → Brunnenanalyse, Bestimmung Zusammenhang Pumprate und Absenkung</li> <li>Dauerpumpversuche bei maximaler Förderrate / geplantem Betrieb: Zeitbedarf ca. 1 Monat → Aquiferanalyse</li> </ul>
-----------------------	---

<b>Auswertung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitreihenanalyse</li> <li>Semi-Log und Log-Log-Plots</li> <li>Diagnostische Plots → Gleichgewichtszustand, Grenzeffekte, Aquifertyp</li> <li>Absenktrichter / radius of influence</li> <li>Hydraulische Transmissivität (z.B. Straight-Line: Cooper-Jacob), Speicherkoeffizient, Skin-Effekte</li> </ul>
-------------------	--



<b>Erkenntnisse &amp; Nutzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Artesischer Ausfluss ca. 1'200 l/min</li> <li>Keine Beeinflussung des Lockergesteinsaquifers</li> <li>Hydraulische Transmissivität: <math>2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}</math></li> <li>Absenkung bei der langfristig maximal realisierten Förderrate von 1'630 l/min ca. 37 m</li> <li>Bestimmung der Einbautiefe Förderpumpe für Betrieb (50 m Tiefe)</li> <li>Sehr schnelle Reaktion des Aquifers in der Förderbohrung, langsame Reaktion in den Überwachungsbohrungen (Absenkung und Anstieg)</li> <li>Ausdehnung Absenktrichter messbar ca. 500m, berechnet ca. 1'000 m</li> </ul>
----------------------------------	--

<b>Bewertung</b>	<b>Kosten</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">&lt;25'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffff00; padding: 2px;">&lt;50'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #f4cccc; padding: 2px;">&gt;50'000</div> </div>	<b>Bedeutung im Projekt</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">Unerlässlich</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffff00; padding: 2px;">Wichtig</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #f4cccc; padding: 2px;">Verzichtbar</div> </div>	<b>Nutzen für Folgeprojekte</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">Hoch</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffff00; padding: 2px;">Gering</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #f4cccc; padding: 2px;">Keine</div> </div>
------------------	---	---	--

SIA Teilphase	11	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
---------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

**Zielsetzung**

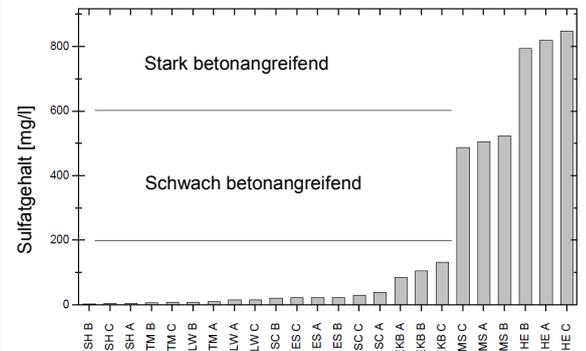
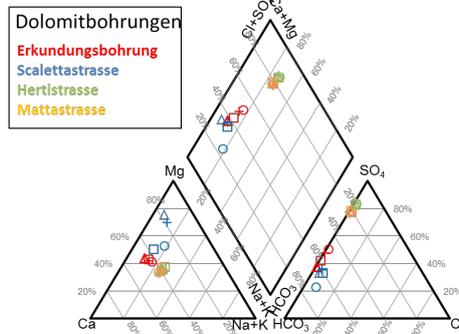
- Überprüfung der Eignung des Grundwassers für Einsatz in Wärmepumpenbetrieb
- Überprüfung Einhaltung der Einleitbedingungen (Wasserchemie)
- Charakterisierung und Abgrenzung der Grundwasserleiter
- Dokumentation von Veränderungen durch die Wasserentnahme für Geothermie

**Untersuchungen**

- Feldmessungen (el. Leitfähigkeit, pH-Wert, Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, Schüttung)
- Laboranalysen (Ionenzusammensetzung, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Wasserhärte)
- BSc-Arbeit Eisenring: 12 Probenahmeorte während 8 Wochen (wöchentliche Probenahme)
- GEOTEST: 8 Probenahmeorte während 1 Jahr (1 Probe pro Quartal)
- Technische Wasserqualität (Korrosion, Kalkabscheidung, Ausfällungen Fe / Mn)
- Untersuchte Parameter (Auswahl): Kationen (Ca, Mg, Na, Ka), Anionen (Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, F), Schwermetalle (Fe, Li, Mn, Sr), DOC

**Auswertung**

- Qualitativer und quantitativer Vergleich der Analyseresultate
- Piper-Plot zur Identifikation von Proben ähnlicher Chemie → Gruppen nach chemischer Signatur
- Vergleich: Gesamtmineralisation, Sulfatgehalt etc. z.B. in Schöller-Plot, Tabellen oder Balkendiagrammen
- Zeitreihenanalysen zur Identifikation von Veränderungen (Trends)



**Erkenntnisse & Nutzen**

- Steigender Mineraliengehalt mit zunehmender Förderdauer
- Grundwasser mit leichtem Schwefelwasserstoffgeruch
- Identifikation der chemischen Signatur für den Lockergesteinsaquifer, den Kluftaquifer und Oberflächengewässer
- Vergleich unterschiedlicher Signaturen → Abgrenzung der Systeme / Grundwasserleitertypen
- Vergleich ähnlicher Signaturen (gleiches Einzugsgebiet) → Variabilität und Charakterisierung Reservoir / Grundwasserleiter / Fließgewässer
- Identifikation von potenziell betonaggressivem Sulfatgehalt im Grundwasser
- Nachweis der Einleitbedingungen und Eignung für Wärmepumpenbetrieb

**Bewertung**

<b>Kosten</b>	<b>Bedeutung im Projekt</b>	<b>Nutzen für Folgeprojekte</b>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #d9ead3; padding: 5px; width: 30px; text-align: center;">&lt;25'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #fcf8e3; padding: 5px; width: 30px; text-align: center;">&lt;50'000</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #f2dede; padding: 5px; width: 30px; text-align: center;">&gt;50'000</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #d9ead3; padding: 5px; width: 30px; text-align: center;">Unerlässlich</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #fcf8e3; padding: 5px; width: 30px; text-align: center;">Wichtig</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #f2dede; padding: 5px; width: 30px; text-align: center;">Verzichtbar</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #d9ead3; padding: 5px; width: 30px; text-align: center;">Hoch</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #fcf8e3; padding: 5px; width: 30px; text-align: center;">Gering</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #f2dede; padding: 5px; width: 30px; text-align: center;">Keine</div> </div>

SIA Teilphase	11	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
---------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

**Zielsetzung**

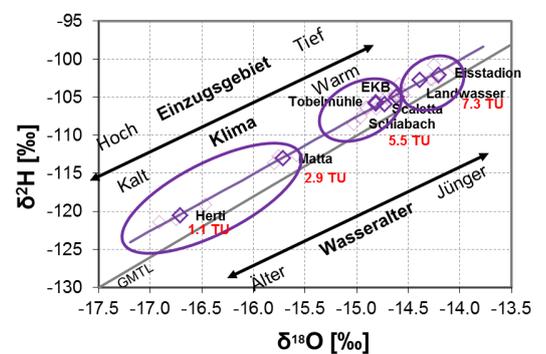
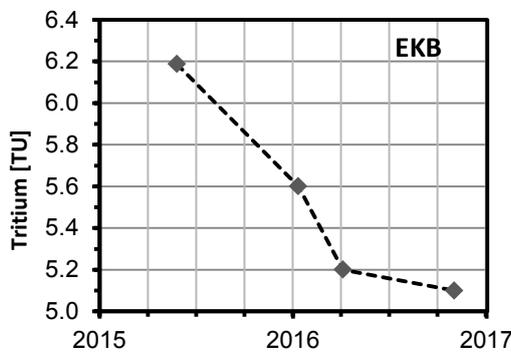
- Beurteilung der Nachhaltigkeit der Nutzung durch Messung der Veränderungen in der Isotopie
- Ermittlung Herkunft (Höhenlage der Grundwasserneubildung, durchflossene geologische Einheiten) und Alter des Grundwassers

**Untersuchungen**

- Probenahme: Felsaquifer, Lockergesteinsaquifer, Fließgewässer
- 2015 BSc-Arbeit Eisenring: 96 Wasserproben, Messdauer 2 Monate
- 2015/16 GEOTEST: 24 Wasserproben, Messrhythmus: vierteljährlich (Jahresgang, Frühling, Sommer, Herbst, Winter)
- Gemessene Isotope: Eisenring 96 x  $\delta^{18}\text{O}$ , 96 x  $\delta^2\text{H} / \delta^3\text{H}$ , 7 x  $\delta^{34}\text{S} / \delta^{18}(\text{SO}_4)$ , 45 x  $\delta^3\text{H}$
- Gemessene Isotope: GEOTEST: 24 x  $\delta^2\text{H} / \delta^{18}\text{O}$ , 4 x  $\delta^3\text{H}$

**Auswertung**

- Auswertung zusammen und getrennt nach Gruppen (Felsgrundwasserleiter, Lockergesteinsgrundwasserleiter, Fließgewässer)
- Korrelation Wasserchemie und Isotopie (z.B.  $\delta^{18}\text{O}$  vs. Gesamtmineralisation)
- Zeitreihen (Trend, Veränderung mit zunehmender Förderdauer)
- Bestimmung der Einzugsgebiethöhe über den Zusammenhang  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$



**Erkenntnisse & Nutzen**

- Mischwasser mit Jung- (erhöhter Tritiumgehalt) und Altwasseranteil (niedriger Tritiumgehalt)
- Mittlere Einzugsgebiethöhe des Grundwassers aus dem Kluftaquifer ca. 2'450 m ü.M.
- Anstieg an altem, tritiumarmen Wasser mit zunehmender Förderdauer, entgegen der ursprünglichen Annahme
- Lange Zeitreihen sind aussagekräftig (> 1 Jahr), ausreichend hohes Messintervall wählen
- Bessere Prognose der langfristigen Entwicklung der Wasserzusammensetzung
- Genauere Bestimmung des Einzugsgebietes und der Verweildauer im Untergrund

**Bewertung**

<b>Kosten</b>	<b>Bedeutung im Projekt</b>	<b>Nutzen für Folgeprojekte</b>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: green; padding: 2px;">&lt;25'000</div> <div style="background-color: yellow; padding: 2px;">&lt;50'000</div> <div style="background-color: red; padding: 2px;">&gt;50'000</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: green; padding: 2px;">Unerlässlich</div> <div style="background-color: yellow; padding: 2px;">Wichtig</div> <div style="background-color: red; padding: 2px;">Verzichtbar</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: green; padding: 2px;">Hoch</div> <div style="background-color: yellow; padding: 2px;">Gering</div> <div style="background-color: red; padding: 2px;">Keine</div> </div>

SIA Teilphase

11

21

22

31

32

33

41

51

52

53

61

62

63

Zielsetzung

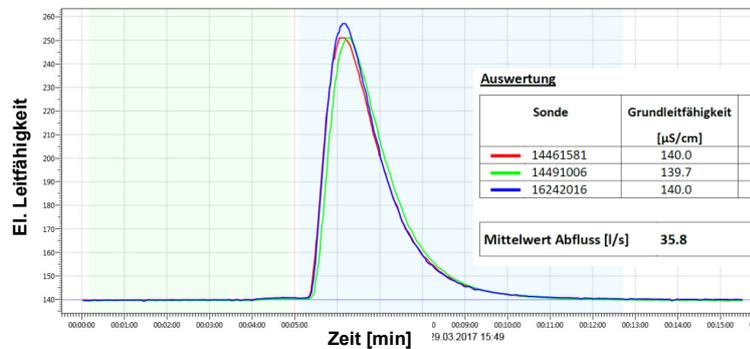
- Quantifizierung der oberflächlichen Abflüsse in Bereich der Schiahorn-Decke zur genaueren Bestimmung der Grundwasserneubildung
- Erhebung von Eingangsparametern für M13 und M15
- Referenzmessungen für Einleitung in Oberflächengewässer

Untersuchungen

- Installation von 3 Pegelmessstellen in Oberflächengewässern im Einzugsbiet des Kluftaquifers (kontinuierliche Messung von Wasserpegel und Wassertemperatur)
- Ca. 30 Abflussmessungen mit Salzverdünnungsmethode über 3 Jahre verteilt bei Hoch-, Niedrig- und Mittelwasser
- Zeitbedarf Installation Pegelmessstelle ca. ½ Tag, Messdauer: ca. 1-5 Jahre
- Zeitbedarf Abflussmessung ca. 1-2 Stunden pro Messung

Auswertung

- Bestimmung Abfluss durch Berechnung des Integrals unter der Durchgangskurve der el. Leitfähigkeit unter (abhängig von der eingegebenen Salzmenge)
- Herleitung p/Q-Beziehung zur Bestimmung der Abflussmenge
- Ganglinie der Tagesmittel Dauerkurve der Tagesmittel
- Typisierung des Abflussregimes (Pardé-Koeffizienten)



Erkenntnisse & Nutzen

- Quantifizierung des oberflächlichen Abflusses (run-off) für die Grundwasserbilanzierung
- Tages-, Monats und Jahreswerte für den Abfluss und die Wassertemperatur
- Temperaturschwankungen (Monatswerte) von ca. 0-15 °C
- Starke Schwankungen des Abflusses vor allem bedingt durch Schneeschmelze oder Starkniederschlagsereignisse (> 30 mm/Tag)
- Glazio-nivales Abflussregime
- Wiederverwendbarkeit der Daten in weiteren Projekten (Hochwasserschutz, Restwasserberechnungen, Kleinwasserkraftwerke)

Bewertung

Kosten



Bedeutung im Projekt



Nutzen für Folgeprojekte



M13

**THERMODYNAMISCHES  
MISCHUNGSVERHÄLTNIS**

**GEOTEST**

GEOLOGEN / INGENIEURE /  
GEOPHYSIKER /  
UMWELTFACHLEUTE

SIA Teilphase

11

21

22

31

32

33

41

51

52

53

61

62

63

**Zielsetzung**

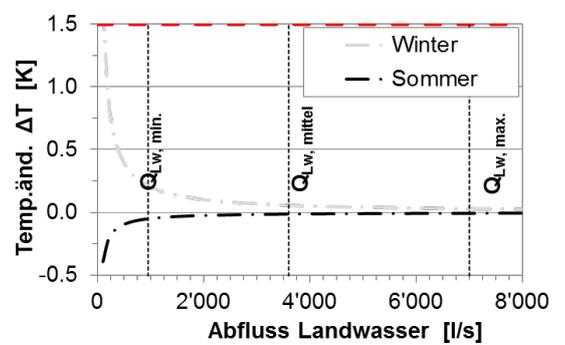
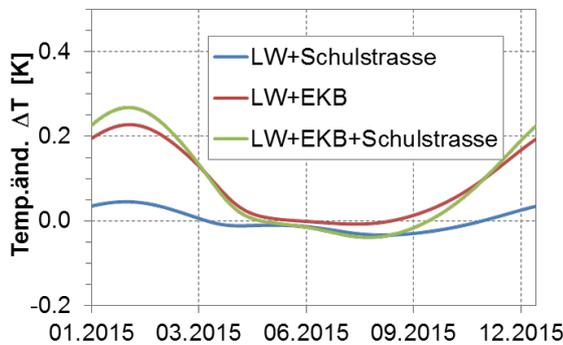
- Überprüfung der Einleitbedingung in Oberflächengewässer (Temperaturanforderungen)
- Einleitbedingungen:  $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  für Fischgewässer,  $\pm 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$  für Forellengewässer

**Untersuchungen**

- Zusammenstellen der Abfluss- und Wassertemperaturdaten (Tageswerte oder Monatswerte) aller relevanter Oberflächengewässer
- Zusammenstellen der Informationen des geplanten Betriebs: Wassertemperatur nach Wärmetauscher und Einletrate, Betriebsstunden, saisonale Änderungen des Betriebes

**Auswertung**

- Berechnung der Mischwassertemperatur gemäss Richmannscher Mischungsregel
- Berechnung der Temperaturänderung  $\Delta T$  im Oberflächengewässer
- Darstellung in Abhängigkeit des Abflusses
- Darstellung der Temperaturänderung im Jahresverlauf
- Berechnung für verschiedene Szenarien



**Erkenntnisse & Nutzen**

- Rechnerischer Nachweis der Einhaltung der Einleitbedingungen in Oberflächengewässer (Temperaturanforderungen)
- Höchste Temperaturänderungen ca.  $0.3 \text{ }^\circ\text{C}$  im Winter deutlich unterhalb Grenzwert von  $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Minimierung der Temperature Auswirkungen auf das Oberflächengewässer und Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Anlage durch höheren Energieentzug (höheres  $\Delta T$ ) möglich

**Bewertung**

**Kosten**



**Bedeutung im Projekt**



**Nutzen für Folgeprojekte**



SIA Teilphase	11	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
---------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

**Zielsetzung**

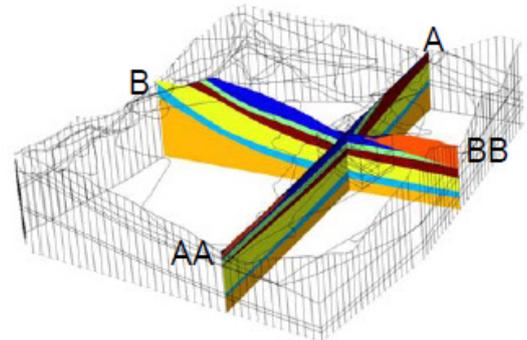
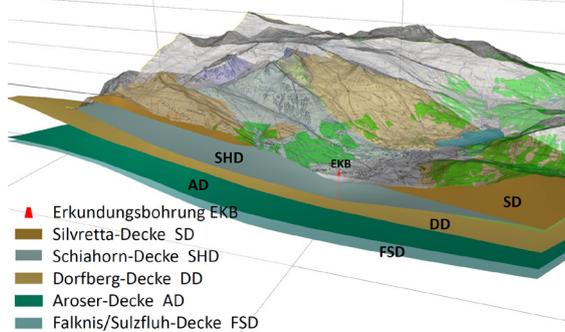
- Zusammenfassung/Visualisierung sämtlicher relevanter Daten in einem geologischen 3D Modell
- Vereinfachte geologische Prognose an beliebigen Standorten im Modellgebiet

**Untersuchungen**

- Zusammenstellen und Aufbereiten der geologischen Grundlagen
- Festlegen der zu modellierenden geologischen (v.a. Decken) bzw. hydraulischen Einheiten
- Modellierung der festgelegten geologischen Einheiten in Form von Flächen mit GoCAD (Datengrundlage: GeoCover-Datensatz, wenige Bohrungen, vorhandene geologische Profile, modellierte Felsoberfläche im Talgrund zwischen Davosersee und Davos Frauenkirch)
- Review der modellierten Flächen durch Fachexperten

**Auswertung**

- Regionales Modell (gesamtes Verbreitungsgebiet der Schiahorn-Decke) und lokales Modell (näheres Umfeld von Davos)
- Ausbisslinien der geologischen bzw. modellierten Einheiten als sichere Daten vorhanden, Verlauf der Schichtgrenzen in geologischen Profilen mit Unsicherheiten behaftet
- Auskeilen, Mächtigkeit, Tiefenlage und Durchdringung von geologischen Einheiten aufgrund konstruktiver Lösungen oder gutachterliche Festlegung (z.B. Auskeilen der Schiahorn-Decke rund 2-3 km südöstlich der Talachse des Landwassertales)
- Zeitbedarf ca. 3 Monate



**Erkenntnisse & Nutzen**

- Synthese der geologischen Modellvorstellung mit verbesserter geologischer Übersicht (insbesondere im regionalen Modell)
- Möglichkeit zur Erstellung von Prognosen für weitere Sondierungen/Bohrungen oder Untertagebauten (Tunnels, Parkhäuser, etc.)
- Mangels gesicherter Daten aus Bohrungen noch grosse Unsicherheiten vorhanden bez. Ausdehnung und Mächtigkeit der verschiedenen geologischen Einheiten (Modellpflege basierend auf Eingang neuer Daten erforderlich)

**Bewertung**

**Kosten**



**Bedeutung im Projekt**



**Nutzen für Folgeprojekte**



SIA Teilphase	11	21	22	31	32	33	41	51	52	53	61	62	63
---------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

**Zielsetzung**

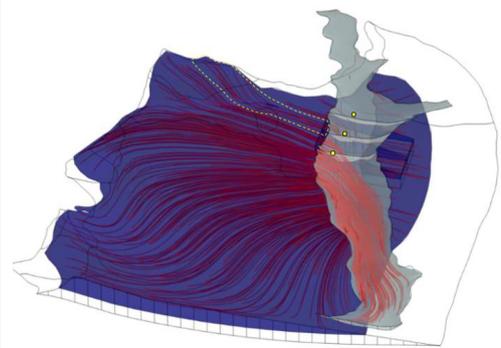
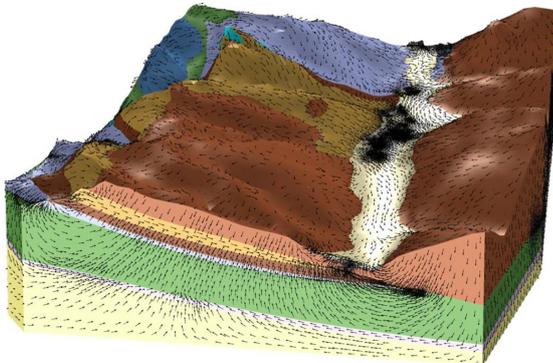
- Simulation / Visualisierung des Grundwasserfließfeldes in einem hydraulischen 3D Modell
- Prognose des hydraulischen Einzugsgebietes für beliebige Brunnenstandorte im Modellgebiet

**Untersuchungen**

- Zusammenstellen und Aufbereiten der hydrogeologischen Grundlagen
- Implementierung der modellierten geologischen Flächen aus GoCad in Comsol
- Parametrisierung der geologischen Einheiten (hydraulische Durchlässigkeit, Anisotropie, etc.)
- Definition und Festlegen der hydraulischen Randbedingungen (Grundwasserneubildung, Randzuflüsse, Durchlässigkeit Grenze Schiahorn-Decke / Lockergesteine, etc.)
- Kalibration des Modells anhand Resultaten aus Stufen- und Dauerpumpversuchen
- Simulation des Grundwasserfließfeldes
- Zeitbedarf 3 Monate

**Auswertung**

- Visualisierung des Grundwasserfließfeldes (des Brunneneinzugsgebietes) und dessen Veränderung bei unterschiedlichen Förderraten
- Berechnung des Grundwasserflusses über definierte Flächen verschiedener geologischer Einheiten bei unterschiedlichen Förderraten
- Umkehr der Grundwasserfließrichtung (Schiahorn-Decke → Lockergestein / Lockergestein → Schiahorn-Decke) bei Übernutzung des Aquifers
- Halbdurchlässiger Rand zwischen Schiahorn-Decke und Lockergestein bewirkt Reduktion des Grundwasserflusses, ist aber für den Aufbau des Wasserdrucks und die gespannten bzw. artesisch gespannten Grundwasserverhältnisse verantwortlich

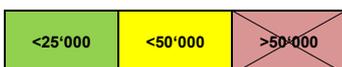


**Erkenntnisse & Nutzen**

- Synthese der hydrogeologischen Modellvorstellung und hydraulischen Erkenntnisse aus den Stufen- und Pumpversuchen in der Erkundungsbohrung
- Möglichkeit zur Quantifizierung des Grundwasserdargebots und des Wärmenutzungspotenzials unter Berücksichtigung verschiedener Anlagekonzepte (mit / ohne Rückführung des thermisch genutzten Grundwassers in den Untergrund) und der Auflagen des Gewässerschutzes (Übernutzung des Grundwasserleiters, etc.), Grundlage für ein geothermisches Nutzungskonzept
- Anwendung des Grundwassermodells zur Planung und Beurteilung weiterer Nutzungen, erwartete Auswirkungen auf das Grundwasserfließfeld und auf bereits bestehende Anlagen (Grundlage für Bewilligung)

**Bewertung**

**Kosten**



**Bedeutung im Projekt**



**Nutzen für Folgeprojekte**



**Übersichtstabelle Methodenbewertung**

Angewandte Methode	Kosten			Bedeutung im Projekt			Nutzen Folgeprojekte		
	<25'000	<50'000	>50'000	Unerlässlich	Wichtig	Verzichtbar	Hoch	Gering	Keine
M1 Grundlagenstudium	X			X					X
M2 Konzeptmodell	X			X				X	
M3 Seismische Messungen			X		X		X		
M4 Sondierbohrung			X	X				X	
M5 Borehole-Viewer	X					X			X
M6 Bohrlochgeophysik	X				X			X	
M7 Grundwassermonitoring Lockergestein	X				X		X		
M8 Grundwassermonitoring Fels	X			X			X		
M9 Pumpversuche		X		X				X	
M10 Wasserchemie	X			X				X	
M11 Isotopengeochemie		X				X		X	
M12 Abflussmessungen	X					X		X	
M13 Thermodyn. Mischungsverhältnis	X			X					X
M14 Geologische 3D Modellierung			X		X		X		
M15 Hydraulische 3D Modellierung			X		X		X		

**Legende Methodenbewertung**

Kosten			
Kategorie	< 25'000 CHF	< 50'000 CHF	> 50'000 CHF
Erklärung	Vergleichsweise geringe Kosten	Vergleichsweise durchschnittliche Kosten	Vergleichsweise hohe Kosten
Bedeutung für Projekt			
Kategorie	Unerlässlich	Wichtig	Verzichtbar
Erklärung	Zwingend notwendig für die Erstellung oder den Anlagenbetrieb	Bedeutender Beitrag für Projektfragen	Untergeordnete Bedeutung, in Folgeprojekt nicht zwingend nötig
Nutzen für Folgeprojekte			
Kategorie	Hoch	Gering	Keine
Erklärung	Hohe Wahrscheinlichkeit, dass Resultate in Folgeprojekten genutzt und erhebliche Kosten gespart werden können	Geringe Wahrscheinlichkeit, dass Resultate in Folgeprojekten genutzt oder Kosten gespart werden können	Keine Nutzbarkeit für Folgeprojekte und keine Kosteneinsparung