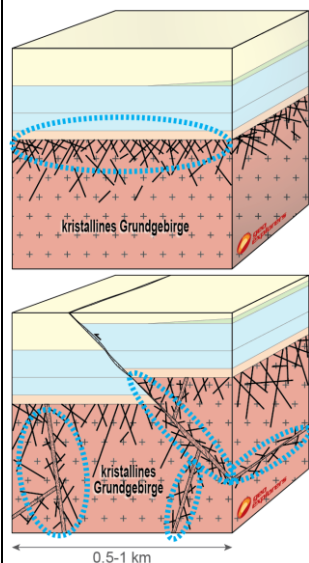


Playtyp: ehemalige verwitterte und somit geklüftete Landoberfläche des kristallinen Grundgebirges, sowie geklüftetes Kristallin in & entlang von Bruchzonen im Grundgebirge, inkl. Buntsandstein

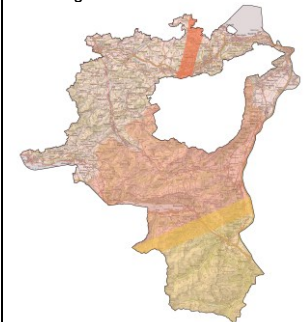
Tektonik:

kristallines Grundgebirge / Aar-Massiv



bevorzugte Projektorte:

ganzer Kanton möglich, siehe Anmerkungen auf Karten in Abb. 47; im mittl. Kantonsgebiet mit >6 km u.T. sehr tief



Chancen:

- Insb. im Kt. AG bestehen einzelne Nachweise in Bohrungen, dass das Top Kristallin verwittert und bis ca. 150 – 200 m (z. T. bis 500 m) geklüftet und somit durchlässig sein kann, sowie dass durchlässige Bruchzonen und Klüfte im tieferen Kristallin vorliegen (z. B. Engerfeld, Schafisheim, Leuggern, Kaisten; siehe auch Nagra NTB 19-02)
- In der 5 km tiefen Bohrung Basel-1 gab es Indikationen für eine leicht erhöhte Durchlässigkeit am Top Kristallin (Klüfte, Verwitterungszone ca. 100 m mächtig, geringe Temperatur-Anomalien evtl. aufgrund konvektiven Grundwasserflusses). Es gab aber keine Spülverluste, Porenraum oder Zuflüsse.
- Gemittelte Durchlässigkeiten verwittertes Kristallin $k_f = 5 \times 10^{-8}$ m/s mit hoher Streuung; in Klüft - bzw. grossen Störzonen $k_f = 10^{-5}$ bzw. 2×10^{-7} m/s (in Signorelli & Kohl 2006), abnehmend mit der Tiefe
- Verwittertes Kristallin nicht an lokale Bruchstrukturen gebunden → Bohrstandort relativ standortunabhängig
- Falls Bruchzonen im Muschelkalk erfolgreich getestet werden und Anzeichen für aufsteigende Felsgrundwässer aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass die Verlängerung der Bruchzonen in die Tiefe, also im kristallinen Grundgebirge ebenfalls durchlässig und wasserführend sind.
- Geochemisch sind die Kristallinwässer oft weniger stark mineralisiert und somit weniger problematisch als in den anderen Plays (Nagra NTB 19-02).
- Potentielle bedeutende Bruch-/Störzonen sind vorhanden (z.B. Überschiebung Aar-Massiv auf autochthones Mesozoikum, St. Galler Verwerfungszone, Verlängerung Permokarbon-Trogrände)

Risiken:

- Grundgebirge wurde im Untersuchungsgebiet noch nie erbohrt.
- Im Basis-Lötschbergtunnel erbohrt, aber dort nicht ausreichend wasserführend, evtl. weil nicht Kristallin-Kristallin sondern Kristallin-Permokarbon-Kontakt.
- Unklar, ob in grösseren Tiefen >3 km noch ausreichende Durchlässigkeiten und Ergiebigkeiten vorliegen. Messwerte zeigen klar abnehmende Durchlässigkeiten und Kluftdichte mit der Tiefe sowie stark variierende Mächtigkeit der Verwitterungsschicht (z. B. in Signorelli & Kohl 2006). Die meisten Tiefbohrungen zeigen in den grossen Tiefen nicht ausreichende Durchlässigkeiten (z. B. Triemli-1, Otterbach-1, Basel-1). Auch die kürzlich erstellt Geothermiebohrung Lavey-1 mit Bohrziel Bruchzonen / Klüfte im Kristallin bestätigt dies mit zu geringen Wasserzutritten von <2l/s.
- Es scheint, dass verwittertes Kristallin nur dort ausreichend durchlässig ist, wo kein bzw. kaum Permokarbon das Kristallin überlagert.
- Durchlässige Zonen im Kristallin lassen sich kaum geophysikalisch aufdecken.

Nachweise:

- Einzelne weniger tiefe Nachweise im Kt. Aargau (z. B. Bad Zurzach 8.5 l/s & Engerfeld bei Rheinfelden 20 l/s)
- Tiefbohrungen mit zu geringen Durchlässigkeiten & Wasserzuflüssen überwiegen (siehe oben)
- Diverse Tiefbohrungen (z. B. Kaisten, Leuggern, Weiach, Nagra NTB 19 - 02) zeigen, dass die Matrixdurchlässigkeit bzw. undeformierte Kristallingesteine generell mit k_f - Werten von $<10^{-10}$ m/s undurchlässig sind. In permeablen Störzonen und im oberflächennah verwitterten Kristallin wurden aber Werte von 10^{-4} bis 10^{-8} m/s gemessen (in Signorelli & Kohl 2006). Auch in Tiefen bis >1'000 m wurden in wenigen Nagra Bohrungen entlang von einzelnen grösseren Störzonen k_f Werte von $>10^{-6}$ m/s ermittelt.

Potenzial (pro Brunnen und total im Kanton St. Gallen):

Aquifer-Temperatur	>110-200 °C
Förderrate:	1 – 30 l/s (keine Referenzdaten, letztere in grossen Störzonen)
therm. Kälteleistung pro Förderbrunnen:	ca. 0.2 – 10 MW_{th} (letztere sehr ungewiss)
Fündigkeitschancen:	gering - mittel (je grösser & untiefer Störzone, desto höher)
Reproduzierbarkeit:	gering - mittel
Anzahl Dubletten ganzer Kanton:	2 – 6 (insb. geologisch + bohrtechnisch limitiert, gebietsweise >6 km)
Therm. Kälteleistung total Kanton:	ca. 1 – max. 40 MW_{th} (sicher nicht alle Brunnen mit max. Förderleistung)
Nutzbare Energie pro Jahr:	ca. 1 – max. 100 Mio. kWh/a (~ 0.1 – 10 Mio. Liter Heizöl)

Nutzungsart: Strom, Direktwärmenutzung

Erkundungsziele:

- Nachweis Top Kristallin, Grenzen Permokarbon & grösserer Bruchstrukturen mittels 3D-Seismik
- Erbohren & Testen der Struktur u./o. Klüftung im verwitterten Top Kristallin (wahrscheinlich angepasste Erschliessungsmethoden hinsichtlich Bohrspfad, Stimulationsmassnahmen usw. notwendig, damit möglichst grosses Reservoirvolumen angeschlossen werden kann)
- Nachweis, dass das geklüftete Kristallin entlang von Bruchzonen sowie in der Verwitterungszone auch in grösserer Tiefe durchlässig, wasserführend und nachhaltig ergebig ist
- Grundlagendaten erheben zu Zufluss, Infiltration, Geochemie, Alter, ...

Vorgehen für ein Pilotprojekt:

1. Bruchzonen mit Reflexionsseismik aufdecken (3D-Seismik notwendig)
2. Risikoanalyse bzgl. spürbarer Erdbefengefährdung & Erdgasführung
3. Sondierbohrung (Tiefe je nach Standort >5-6 km u. T.; im Aar-Massiv & im Norden weniger tief; je nach Standort abgelenkt)
4. **Aufgrund hoher Fündigkeitsrisiken & Bohrkosten sollte zwingend auf eine Multiexploration mit verschiedenen Zielhorizonten gesetzt werden**
5. Pumptests, geochemische Messungen usw.
6. Evtl. Stimulationsmassnahmen und Langzeitpumptest
7. Bei Erfolg Erstellen zweiten Brunnen der Dublette und Zirkulationstest

Kosten (je nach Lage, Fläche Seismik, Bohrtiefe >5-6 km u. T., Ausbau, Testumfang, Verfügbarkeit Bohrfirmen):

Reflexionsseismik:	2 – 8 Mio. CHF
Sondierbohrung inkl. Pumptest, Monitoring:	50 – 70 Mio. CHF
Zweiter Brunnen inkl. Zirkulationstest:	50 – 70 Mio. CHF

Mit zunehmender Duplizierbarkeit verringern sich wie bei den EWS die Kosten (Standardvorgehen, Konkurrenz).

Dauer (stark abhängig von Verfügbarkeit, deshalb grosse Bandbreite):

Vorgängige Planung, Bewilligungen:	6 – 12 Monate
Reflexionsseismik inkl. Ausschreibung, Auswertung	8 – 14 Monate
Sondierbohrung inkl. Ausschreibung, Tests, Auswertung	16 – 30 Monate
Ausbau zur Dublette mit Zirkulationstest	12 – 24 Monate

Wie die letzten Geothermieprojekte zeigen, muss im Fall von solch tiefen Bohrungen mit mehreren Jahren für die Entscheidungsfindung, Finanzierung, Planung, Bewilligungen, Ausschreibungsphase usw. gerechnet werden.