# Abschlussbericht

# Potenzial der mitteltiefen und tiefen Geothermie im Kanton Zug

---

**Auftraggeber:**

Pascal Suter
Kanton Zug, Baudirektion
Amt für Umwelt



**Autor:**

Andreas Ebert

Liestal, 30.01.2026

| | |
|---|---|
| Projekt | Geothermisches Potenzial im Kanton Zug |
| Objekt / Standort | Kanton Zug |
| Auftraggeber | Kanton Zug, Baudirektion<br>Amt für Umwelt |
| Adresse | Aabachstrasse 5<br>6300 Zug |
| Referenz-Nr. | |
| Besteller | Herr Pascal Suter |
| Ausführende Büros | Geo Explorers AG<br>Wasserturmplatz 1<br>4410 Liestal |
| Projektleitung | Andreas Ebert |
| Sachbearbeitung | Andreas Ebert |
| Qualitätskontrolle | Christian Häring |
| Dateiname / Version | 26_01_30 Geothermisches Potenzial Zug.docx |
| Datum Bericht | 30.01.2026 |
| Anhang | Playregister mit Potenzial |

# Inhaltsverzeichnis


**1 Zusammenfassung ... 1**
**2 Einleitung ... 3**
2.1 Aufgabe und Ziele ... 3
2.2 Anmerkungen zur Potenzialbewertung und Datengrundlage ... 3
**3 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage ... 4**
**4 Übersicht strukturgeologischer Aufbau im Kt. Zug ... 5**
**5 Geothermische Nutzungsarten und deren Reifegrad ... 7**
5.1 Übersicht Nutzungsarten ... 7
5.2 Tiefe Erdwärmesonden ... 8
5.3 Tiefe Grundwasserbrunnen ... 8
5.4 Hydrothermale Nutzungen ... 9
5.5 Tiefe Geothermie im gering durchlässigen Untergrund ... 9
**6 Geothermie in der Schweiz ... 10**
6.1 Geothermische Projekte in der Schweiz ... 10
6.2 Notwendige Voraussetzungen für eine geothermische Nutzung ... 10
**7 Aufbau und Eigenschaften des Untergrunds im Kanton Zug ... 11**
7.1 Strukturgeologische Querprofile ... 11
7.2 Untergrundtemperaturen ... 14
7.3 Durchlässigkeiten der Gesteinsschichten ... 17
**8 Playregister im Kanton Zug ... 17**
**9 Geothermisches Potenzial ... 22**
9.1 Notwendige Voraussetzungen ... 22
9.2 Erfolgswahrscheinlichkeit ... 22
9.3 Geothermisches Potenzial pro Play im Kanton Zug ... 23
9.3.1 Übersicht Play-Potenziale ... 23
**10 Synergie im Rahmen einer geothermischen Nutzung ... 26**
**11 Förderbeiträge ... 26**
**12 Risiken / Konflikte / Anforderungen ... 27**
**13 Schlussfolgerungen zum geothermischen Potenzial ... 28**
13.1 Wärmenutzung ... 28
13.2 Stromproduktion ... 29
13.3 Aquiferspeicher / Wärmenutzung eiszeitliche Rinnen ... 31
13.4 Wirtschaftlichkeit und Risiken ... 32
**14 Empfehlungen ... 33**
14.1 Empfehlungen zu den einzelnen Plays ... 33
14.2 Standortbetrachtungen ... 33
14.3 Allgemeine Empfehlungen ... 34
**15 Literaturliste ... 35**
**16 Glossar ... 36**

# Abbildungsverzeichnis


Abb. 1 Untersuchungsgebiet und verwendete Daten ..... 5
Abb. 2 Tektonische Einheiten vom Jura bis in die Alpen ..... 5
Abb. 3 Geothermische Nutzungsarten sortiert nach Tiefe und Reifegrad ..... 7
Abb. 4 Querprofil 1 durch Hagendorn und Rotkreuz ..... 12
Abb. 5 Querprofil 2 durch Baar bis zum Rossberg ..... 13
Abb. 6 Querprofil 1 mit überlagerten Felstemperaturen ..... 15
Abb. 7 Querprofil 2 mit überlagerten Felstemperaturen ..... 16
Abb. 8 Mögliche geothermische Plays im Kanton Zug ..... 19
Abb. 9 Querprofil 1 mit exemplarischen Play-Typen ..... 20
Abb. 10 Querprofil 2 mit exemplarischen Play-Typen ..... 21
Abb. 11 Erfolgswahrscheinlichkeit versus geothermische Leistung ..... 23
Abb. 12 Abschätzung geothermisches Potenzial pro Play (hochauflösend im Anhang) ..... 24
Abb. 13 Exemplarische Erschliessungsmöglichkeiten und Potenzial entlang Profil 1 ..... 29
Abb. 14 Exemplarische Erschliessungsmöglichkeiten und Potenzial entlang Profil 2 ..... 30

# 1 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie visualisiert die geothermischen Plays[1] im Untergrund und bewertet das geothermische Potenzial der tieferen Geothermie im Kanton Zug. Die Studie wurde vom Amt für Umwelt des Kantons Zug in Auftrag gegeben und basiert hauptsächlich auf reprozessierten seismischen Daten, wenigen umliegenden Tiefbohrungen sowie strukturgeologischen Erkenntnissen aus der Oberflächengeologie. Die vorhandenen seismischen Daten erlauben eine grobe Kartierung des tiefen Untergrundes, jedoch können damit keine konkreten Bohrziele definiert werden. Dafür sind weitere geophysikalische Erkundungen notwendig. Auch können Parameter wie Temperatur und Durchlässigkeit nur aus Tiefbohrungen aus ähnlicher geologischer Situation abgeleitet werden. Daher sind die Potenzialabschätzungen konservativ und vorsichtig formuliert. Verschiedenste Erkundungen und Geothermieprojekte in der Schweiz zeigen, dass nach derzeitigem Wissensstand für die Geothermie im Wesentlichen lokale, grössere und bestenfalls verkarstete Bruchzonen in Frage kommen. Bekannte Beispiele sind z.B. Riehen, Yverdon oder Bad Schinznach.

Relevante geothermische Plays finden sich im Kanton Zug im Mesozoikum in Tiefenlagen von 2,5 bis 5 km, wobei in diesem Schichtpaket nur Bereiche entlang von grösseren Bruchzonen (geklüftete kompetente Gesteine) und/oder sehr lokal durchlässiger Paläokarst am Top des Mesozoikums in Frage kommen. Diese Plays im Mesozoikum weisen je nach Tiefenlage Temperaturen von 80-150 °C auf und wären somit für die Wärmedirektnutzung oder Stromerzeugung geeignet. Im darunterliegenden Grundgebirge können im Kristallin ebenfalls Bruchzonen oder Permokarbon-Trogränder potenziell durchlässig und wasserführend sein. Die Durchlässigkeit und somit die Wasserführung sind entscheidend für die geothermische Nutzung. Die höchsten Werte werden in geklüfteten Malmkalken und Muschelkalk-Gesteinen entlang von Bruchzonen erwartet; die Matrixporosität ist zu gering. Paläokarst kann lokal hohe Durchlässigkeit aufweisen, ist aber schwer vorhersagbar und meist eher mit dichtem Boluston verfüllt. Für den Kanton Zug gilt auch allgemein, dass mit zunehmender Tiefe die Durchlässigkeit abnimmt und Klüfte, besonders alte, durch Ausfällungen verschlossen sein können. Sandsteine und Nagelfluhbänke könnten primär porös sein. Es hat sich aber in allen Bohrungen entlang der Alpenfront gezeigt, dass diese Gesteine selbst in Bruchzonen gering durchlässig sind und von daher nicht für die geothermische Nutzung in Frage kommen. Übertiefte quartäre bzw. eiszeitliche Rinnen werden derzeit verschiedentlich im Schweizer Mittelland erkundet und getestet. Es zeigt sich, dass meist basale, durchlässige und wasserführende Kieslagen vorhanden sind, die sehr ergiebig sind und sich bestens für eine Wärme-/Kälte-Speicherung (ATES[1]) eignen. Im Kanton Zug liegen 4 übertiefte quartäre Lockergesteinsrinnen bzw. -becken vor. Diese wurden in dieser Studie aber nicht im Detail untersucht und hinsichtlich Aufbau und Eignung untersucht. Auf Grund ihrer Tiefe von bis zu >400 m lassen sich diese viel rascher und günstiger erkunden und mit mehreren Brunnen erschliessen, bei ähnlichen Leistungen wie im Fall der tiefen Plays. Zudem sind die Erfolgswahrscheinlichkeiten und die Akzeptanz viel grösser. Dafür ist «nur» eine Nutzung mit Wärmepumpe möglich, oder der Aquifer wird als Speicher genutzt. Künstlich erzeugte Wärmetauscher (z. B. EGS[1] und AGS[1]) werden beschrieben, sind möglich, aber derzeit noch nicht wirtschaftlich und in Entwicklung.

Das Potenzial wird durch die Temperatur und Schüttungsrate bestimmt. Realistische Schüttungsraten liegen bei den attraktiven tiefen Plays im Kanton Zug bei 5 bis 20 l/s (im besten

[1] Siehe Definition im Glossar

und seltenen Fall vielleicht auch bis 50-100 l/s), in eiszeitlichen Rinnen mit basalen durchlässigen Kieslagen bei 20 bis 80 l/s. Mit den entsprechenden Untergrundtemperaturen sind folglich thermische Leistungen pro Brunnen von 0,5 bis 10 $MW_{th}$ möglich, konservativ eher 0,5 bis 5 $MW_{th}$. In den eiszeitlichen Rinnen können pro Brunnencluster saisonal bis zu 10-20 GWh an Wärme/Kälte eingespeichert werden. Die Fündigkeitschancen im Fall der tiefen Plays variieren je nach anvisierter Förderrate und derzeitiger Datengrundlage von gering bis mittel, im Fall von gut erkundeten eiszeitlichen Rinnen von mittel bis hoch. Grundsätzlich sind im Kanton Zug mehrere Dubletten pro Play möglich. Wird die Exploration auf mehrere übereinanderliegende Plays und mögliche Nutzungsmöglichkeiten (z. B. Speicherung von $CO_2$, Wasserstoff oder Gewinnung von Lithium oder Erdgas) ausgeweitet, so lassen sich die Explorationskosten und Erfolgsrisiken bei gleichzeitigem Erkenntnisgewinn für alle auf mehrere Projektanten verteilen.

Es wird empfohlen, mit untiefen Plays bzw. den eiszeitlichen Rinnen zu beginnen, da diese günstiger und schneller erkundet werden können und somit jetzt bei der erfolgenden Energiewende einen Beitrag leisten können. Die tiefen Plays sind derzeit viel risikoreicher, teurer zu erkunden/erschliessen und benötigen meist viele Jahre Vorlauf bis zur Ausführung. Neben der oft fehlenden Akzeptanz bestehen auch zusätzliche Risiken wie das seismische Risiko. Deshalb wird ein top-down-Vorgehen vorgeschlagen. Mit untiefen Projekten können rasch bei geringem Risikokapital Erfolge erbracht, Vertrauen aufgebaut, Erkenntnisse auch für die tiefere Geothermie gewonnen und eine Reproduzierbarkeit ermöglicht werden. Eine systematische Multiplay-Exploration mit mehreren Sondierbohrungen wird empfohlen, um Erkenntnisse zu gewinnen und Fündigkeitschancen zu erhöhen. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Kanton, Gemeinden, Forschung und Wirtschaft ist für eine erfolgreiche Entwicklung essenziell.

# 2 Einleitung

## 2.1 Aufgabe und Ziele

Schweizweit wird das Ziel verfolgt, bis 2050 das Netto-Null Ziel für Treibhausgasemissionen zu erreichen. Dafür soll eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung aufgebaut werden. Um diese Ziele erreichen zu können, bietet die Geothermie als einheimische Energiequelle wichtige und interessante Möglichkeiten mit vielen Vorteilen für die Bereiche Wärmeversorgung und thermische Speicherung.

Deshalb wurde vom Amt für Umwelt des Kantons Zug die vorliegende Potenzialstudie zur geothermischen Nutzung des Untergrundes im Kantonsgebiet in Auftrag gegeben. Die Studie soll einen Überblick über den aktuellen Kenntnisstand zum Aufbau des tiefen Untergrunds und der daraus abgeleiteten geothermischen Plays sowie deren Lage, Potenzial und Nutzungsmöglichkeiten, bei Berücksichtigung der derzeit verfügbaren und einsetzbaren Technologien geben. Dabei diente die reprozessierte Seismik als wichtigste Grundlage. Der Fokus der kurzen Studie liegt auf dem Aufarbeiten der Daten und Visualisieren des tiefen Untergrundes, Definition von potenziellen Plays und Quantifizierung von deren Potenzial. Für umfangreichere Studien in ähnlicher Geologie und weiterführenden Angaben wird auf die kürzlich erstellten Potenzialstudien in NW, OW und SG verwiesen.

Die Nutzung des untiefen Untergrundes durch Wärmeentzug aus oberflächennahen Grundwasserleitern und durch Erdwärmesonden wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt. Diese haben im Studiengebiet ein grosses Potenzial und werden bereits genutzt und kontinuierlich ausgebaut. Der Fokus der vorliegenden Studie liegt auf der bisher nicht genutzten Tiefengeothermie. Die eiszeitlichen Rinnen wurden aufgenommen, aber nicht im Detail hinsichtlich des lithologischen Aufbaus untersucht.

***Für Fachbegriffe wird auf die Erklärungen im Glossar verwiesen.***

## 2.2 Anmerkungen zur Potenzialbewertung und Datengrundlage

Die Bewertung des Potenzials hängt stark vom Umfang bestehender Untergrunddaten ab. Mit den bestehenden Untergrunddaten (z. B. Seismik, Tiefbohrungen, geol. Karten) kann der strukturgeologische Aufbau des Untergrundes definiert werden. Es ist möglich, die grobe Tiefe und die Lage der wichtigsten Schichten und einzelne grosse Störzonen abzubilden. Aufgrund der zum Teil geringen Auflösung der seismischen Daten und Lücken zwischen den seismischen Erkundungen können aber nicht alle relevanten Bruchzonen und keine detaillierten Bohrziele definiert werden. Für die sichere Bestimmung von Untergrundparametern wie Temperatur, Durchlässigkeit und Wasserführung braucht es Daten aus Bohrungen. Im Studiengebiet selber und direkt angrenzend gibt keine Tiefbohrung, die das kristalline Grundgebirge erreicht hat. Hünenberg-1 mit einer Bohrlänge von 3'288 m hat nur das Top der autochthonen Malmkalke erbohrt. Die nächste Tiefbohrung, welche alle relevanten Schichten in vergleichbarer geologischer Lage durchbohrt hat, ist Entlebuch-1 mit einer Bohrlänge von 5’290 m. Es müssen daher Erfahrungswerte aus ähnlichen geologischen Untergrundkonstellationen auf die Situation im Studiengebiet übertragen werden. Entsprechend werden die Meinungen je nach Interpretation hinsichtlich des geothermischen Potenzials variieren. Aufgrund des eher bescheidenen Datenbestandes, der bisher geringen und meist ernüchternden Erfahrungen aus Geothermieprojekten in der Schweiz und des hohen notwendigen Risikokapitals für die Erkundung und Erschliessung der Tiefengeothermie sind in der vorliegenden Studie die

Potenzialabschätzungen konservativ und die Empfehlungen zurückhaltend. Es werden dennoch alle möglichen Plays präsentiert und mit bisher gewonnenen Erkenntnissen und Messwerten beschrieben.

Der vorliegende Kurzbericht ist als eine aufbauende und erweiternde Grundlage - insbesondere in Hinblick auf die Definition von Plays und Bewertung deren Potenzial und Empfehlungen - zu den beiden bestehenden Studien von 2013 (Vorabklärungen zur Tiefengeothermie – Kanton Zug) und 2014 (Tiefengeothermie im Kanton Zug - Synthesebericht) zu verstehen.

# 3 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Der Untersuchungsperimeter umfasst das gesamte Gebiet des Kantons Zug (Abb. 1). Für die Analysen wurden aber auch umliegende Daten der Nachbarkantonen berücksichtigt. Die wichtigste Datengrundlage für die Studie sind die Seismikprofile der SEAG, welche im Jahr 2013 reprozessiert und neu interpretiert wurden (Abb. 1). Allerdings erfolgte keine Tiefenumwandlung von Zeit in Tiefe. Des Weiteren wurden Tiefbohrungen (z.B. Tiefbohrungen Hönenberg-1, Weggis-1 und Entlebuch-1) und strukturgeologische Querprofile berücksichtigt (Abb. 1).

Es gibt nur eine Tiefbohrung auf dem Kantonsgebiet (Hünenberg-1), welche nur bis in das Top, des unter der Molasse liegenden Malms gebohrt hat. Diese wurde mit dem Ziel Erdöl in der Molasse zu finden gebohrt; war aber nicht fündig. Die Querprofile bilden nur die Schichten der Molasse ab. Entsprechend war eine Hauptaufgabe für diese Studie, mit zwei repräsentativen, strukturgeologischen Querprofilen den Aufbau des Untergrundes bis in das kristalline Grundgebirge auf Basis der genannten Daten zu konstruieren und abzubilden.

Die Qualität der reprozessierten 2D-Seismik aus den Jahren 1975-1977 ist befriedigend und erlaubt eine Kartierung des Mesozoikums. Die Qualität der Seismik nimmt von Norden nach Süden ab. Grössere Bruchzonen sind erkennbar. Diese können aber nur grob ausgeschieden werden. Das Permokarbon kann vereinzelt interpretiert werden. Grenzen können aber nur vage gezogen werden und sind mit grossen Unsicherheiten behaftet. Die Molasse-Schichtung ist gebietsweise erkennbar, erlaubt aber insbesondere, wo steil gestellt, nur eine grobe Interpretation.

Grundsätzlich kann mit Hilfe der bestehenden Daten der grobe Aufbau des Untergrundes vorhergesagt werden. Die räumliche Lage, das Schichteinfallen und die grobe Tiefenlagen der verschiedenen Schichteinheiten können gut bestimmt werden. Auch können Bereiche mit grösseren Brüchen ausgeschieden werden. Somit können potenzielle geothermische Plays definiert und lokalisiert werden. Daraus abgeleitet und auf Basis von ähnlichen erbohrten und getesteten Schichten in der Schweiz kann das geothermische Potenzial abgeschätzt und die mögliche Bandbreite von hydrogeologischen Parametern für die verschiedenen Schichten bzw. Aquifere bewertet werden. Die Daten reichen sicher nicht aus, um Bohrziele genau definieren zu können. Dafür sind ergänzende seismische Erkundungen und Sondierbohrungen notwendig.

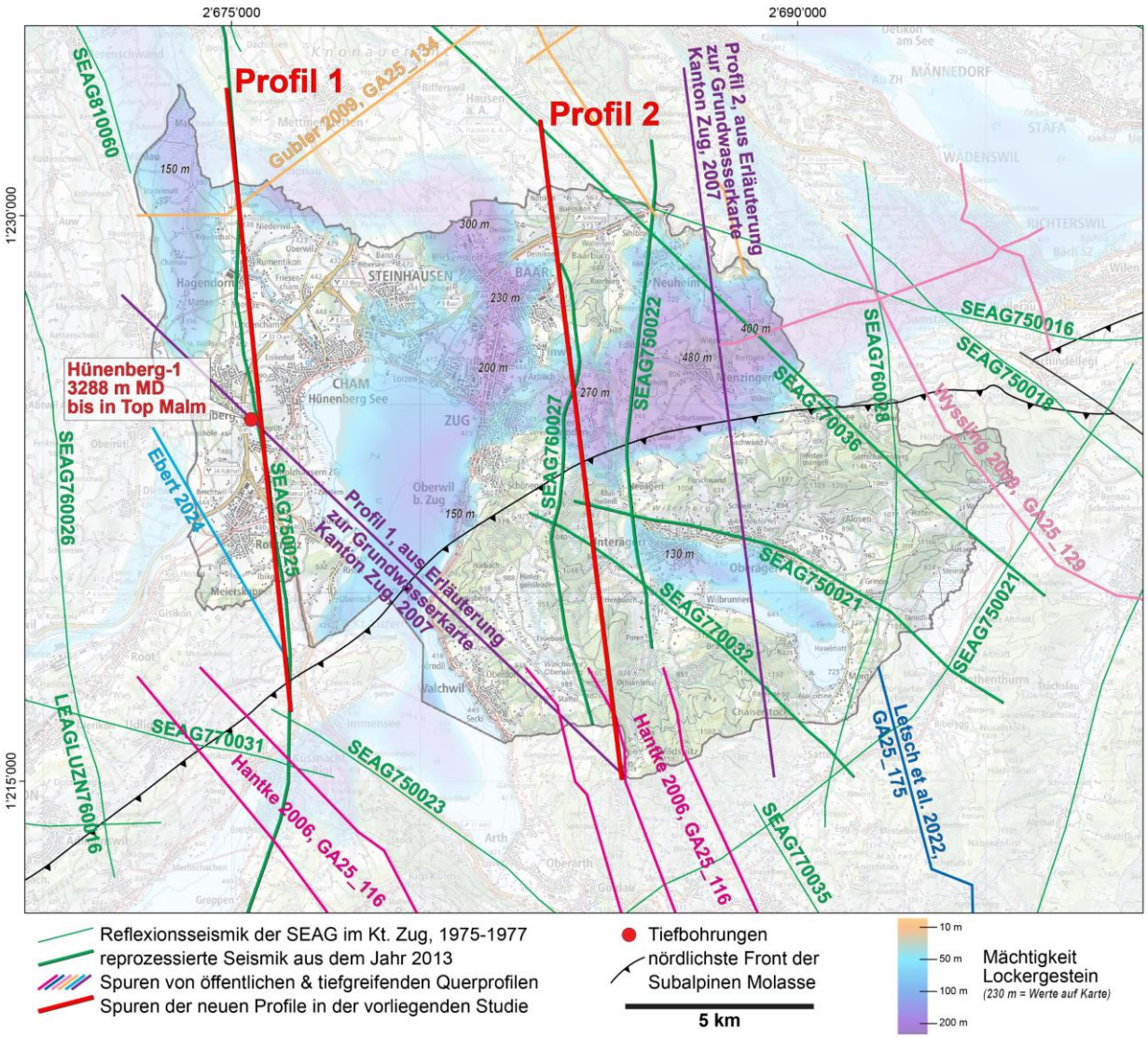



**Abb. 1 Untersuchungsgebiet und verwendete Daten**

# 4 Übersicht strukturgeologischer Aufbau im Kt. Zug

Das Querprofil in Abb. 2 zeigt den groben geologischen Aufbau vom Juragebirge über das Mittelland bis in die Alpen. Das Untersuchungsgebiet ist auf der folgenden Abbildung eingegrenzt.

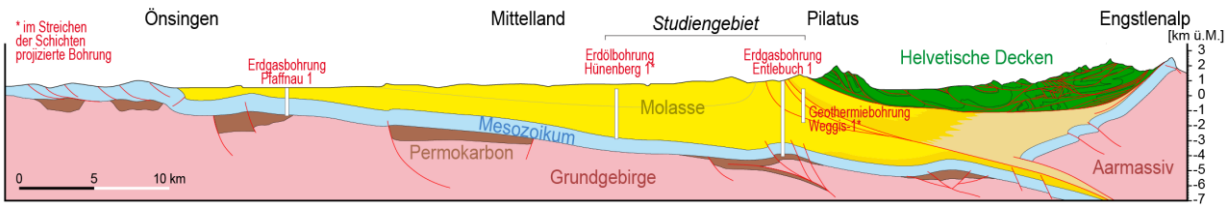



**Abb. 2 Tektonische Einheiten vom Jura bis in die Alpen**

Von unten nach oben ist der Untergrund im Untersuchungsgebiet wie folgt aufgebaut:

In Tiefen zwischen 2.5 bis über 6 km liegt das **kristalline Grundgebirge** (in der Abb. 2 rosa), in welchem sich vor mehr als 250 Mio. Jahren grosse Gräben gebildet haben. Diese **Permokarbontröge** wurden mit einer mächtigen Abfolge von Brekzien, Sandsteinen, Tonsteinen und Kohle gefüllt (in der Abb. 2 braun). Die Herkunft bekannter Erdgasaustritte entlang vom Alpennordrand wird der Kohle in diesen Trögen zugeordnet (Inkohlungsprozesse mit Freisetzung von Methan).

Darüber wurde vor 252 bis 66 Mio. Jahren das autochthone **Mesozoikum** abgelagert (in der Abb. 2 blau). Diese sedimentäre Schichtenabfolge umfasst u.a. die Schichten des Muschelkalks, des Keupers und des Jurazeitalters. Das Mesozoikum besteht grösstenteils aus marinen Ablagerungen wie z. B. Kalksteinen und Mergeln. Im Untersuchungsgebiet ist das komplette Mesozoikum ca. 0.8 km mächtig. Das Top liegt grob in einer Tiefe von 2.5 bis 3.5 km. Die mesozoischen Schichten fallen nach Süden ein und sind im Untersuchungsgebiet teilweise durch die Alpenbildung verbogen und von Brüchen durchsetzt. Jüngere Schichten aus der Kreidezeit wurden, zumindest im Studiengebiet, entweder nicht abgelagert oder lagen nachfolgend über Meer und waren somit der Verwitterung und Abtragung ausgesetzt. Ein bekanntes Phänomen, das damals entstand und wiederholt in Tiefbohrungen im Mittelland angebohrt wurde, ist der **Paläokarst** (auch Eozäner Karst genannt). Es handelt sich um eine alte Verkarstung der mesozoischen Kalksteine, welche während der Kreide bis Oligozän unter tropischen Bedingungen an der Oberfläche lagen. Die dabei entstandenen Karsterscheinungen wie Spalten und Klüften sind meist mit einem Residium, dem sog. Siderolithikum aus roten eisenschüssigen Bolustonen, limonitischen Bohnerzen und Quarzsanden verfüllt.

Über dem Mesozoikum folgen tertiäre klastische Sedimente, welche während der Alpenbildung abgelagert wurden. Es handelt sich dabei um **Molasse**-Sedimente, welche im Oligozän und Miozän je nach Ort und Autor vor ca. 32-34 bis ca. 6-12 Mio. Jahren in einem Vorlandbecken abgelagert worden sind, wobei gebietsweise die jüngeren Sedimente wieder erosiv abgetragen wurden (in der Abb. 2 gelb). Es handelt sich um den Abtragungsschutt der werdenden Alpen. Die Molasse besteht primär aus Konglomeraten (Nagelfluh), Sandsteinen, Mergeln und Tonsteinen. Je nach Ablagerung unter oder über dem Meeresspiegel unterscheidet man zwischen Meeres- und Süsswassermolasse. Die südlichsten Bereiche der Molasse, welche zum Teil auch unter der Alpenfront liegen, wurden ab dem frühen Miozän in die Alpenbildung miteinbezogen. Sie sind folglich verfaltet, steil gestellt und verschuppt und werden als **Subalpine Molasse** bezeichnet. Unter anderem werden die Rigi und der Rossberg durch die Gesteine der Subalpinen Molasse aufgebaut.

Die über die Molasse überschobenen Gesteine der Flysch-Einheiten und Helvetischen Decken kommen im Kanton Zug nicht vor. Für mehr Details siehe z. B. Pfiffner, 2009.

# 5 Geothermische Nutzungsarten und deren Reifegrad

## 5.1 Übersicht Nutzungsarten

Je nach Tiefe, Geologie, Aquifertyp und Bohrausbau können verschiedene geothermische Nutzungsarten unterschieden werden. Die verschiedenen Nutzungsarten sind in Abb. 3 grafisch zusammengefasst. Übersichtliche Beschreibungen der verschiedenen Nutzungsarten finden sich in weiterführenden Publikationen[2].

Tiefenabhängig lassen sich die geothermischen Nutzungsarten wie folgt gliedern:

- Oberflächennahe Nutzungen auf tiefem Temperaturniveau für die Wärmegewinnung mittels Wärmepumpe oder zur saisonalen Wärme-Kälte-Speicherung. Die Erschliessung erfolgt mittels EWS (Erdwärmesonden) oder Grundwasserbrunnen.
- Mitteltiefe Nutzungen im Temperaturbereich von ca. 25 bis 60°C für die Wärmedirektnutzung und/oder mittels Wärmepumpen. Die Erschliessung erfolgt primär mit hydrothermalen Singletten/Dubletten aus Bereichen erhöhter Durchlässigkeit oder alternativ mittels tiefer Erdwärmesonden.
- Tiefe Geothermie mit hydrothermalen Nutzungen oder EGS (Enhanced Geothermal System) für die Wärmedirektnutzung oder die Stromgewinnung

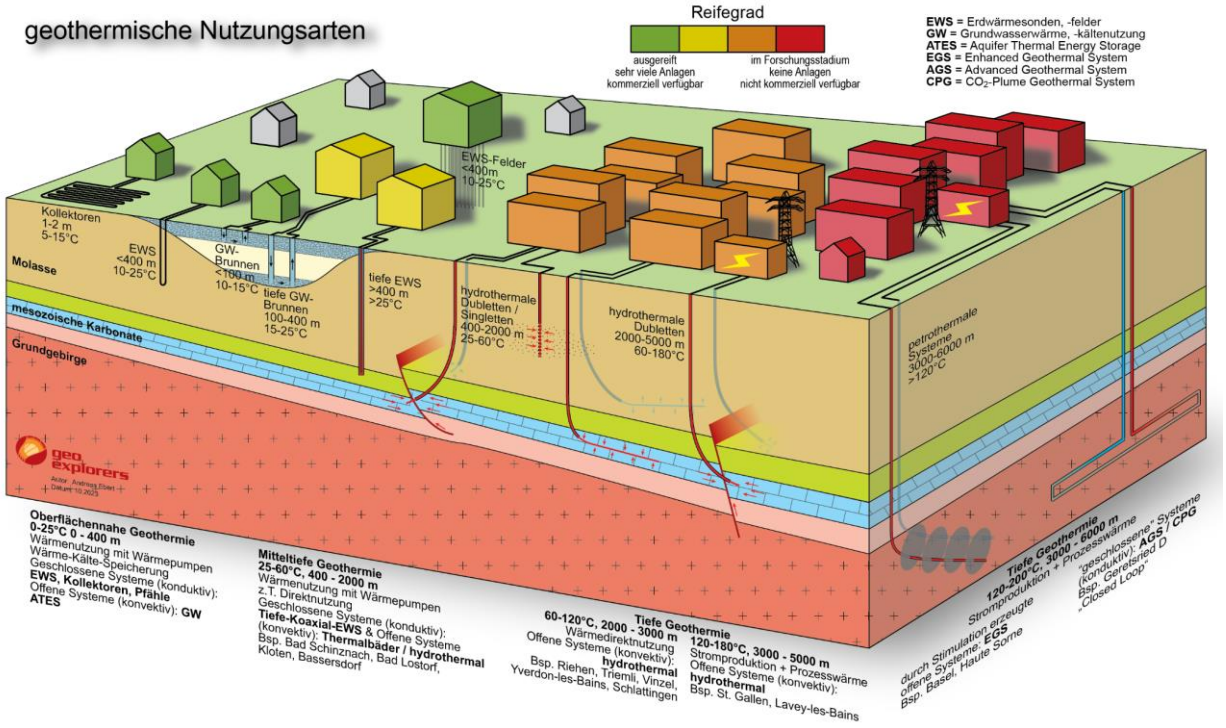



**Abb. 3 Geothermische Nutzungsarten sortiert nach Tiefe und Reifegrad**
Die Nutzungsarten sind an den Schweizer Untergrund im Mittelland angepasst.

[2] https://geothermie-schweiz.ch/geothermie/geothermie-uebersicht/ oder https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/geothermie/geothermische-nutzungssysteme-uebersicht

Grundsätzlich werden fünf geothermische Nutzungsarten unterschieden:

- Tiefe Erdwärmesonden (TEWS)
- Tiefe Aquiferbrunnen (ATES = Aquifer Thermal Energy Storage)
- Hydrothermale Systeme (häufig Singletten oder Dubletten)
- Enhanced Geothermal System (EGS, auch: petrothermales System).
- Advanced Geothermal System (AGS, auch: Closed-Loop Geothermal System).

Es gibt Bestrebungen, die genannten Systeme mit anderen Nutzungen zu kombinieren, wie z. B. mit der Einspeicherung von $CO_2$ (CPG $CO_2$-Plume Geothermal System), der Nutzung von anderen effektiveren Wärmeträgermitteln wie $CO_2$ oder der Lithium-Gewinnung aus dem geförderten Thermalwasser.

Je tiefer die Bohrungen und je aufwändiger die Techniken zur Erhöhung der Durchlässigkeit des Untergrunds, desto geringer sind derzeit der technologische Reifegrad und die Erfolgschancen sowie steigen die Erschliessungskosten stark mit der Tiefe an. Erdwärmesonden bis in Tiefen von ca. 400 m haben sich aufgrund der breiten Anwendung, der dadurch tiefen Bohrkosten und der guten Planbarkeit bereits vor Jahren auf dem Markt konkurrenzfähig etabliert. Hingegen sind hydrothermale Systeme mit Fündigkeitsrisiken verbunden und EGS ist immer noch im Entwicklungsstadium. Im Fall AGS bestehen zwar einzelne Pilotprojekte, eine wirtschaftliche Nutzung dieser Technologie ist jedoch erst dann möglich, wenn die Bohrkosten in Zukunft signifikant sinken.

## 5.2 Tiefe Erdwärmesonden

Die derzeit gängigen TEWS reichen bis in Tiefen von 400 bis 800 m. Diese sind Doppel-U- oder Koaxial-Sonden, welche in ein schmales Bohrloch (Durchmesser ca. 152 mm) gestellt und mit einer Zementsuspension hinterfüllt werden. Es handelt sich um einen geschlossenen Kreislauf, in welchem ein Wärmeträgermedium (Wasser mit oder ohne Frostschutz) in der Sonde zirkuliert und konduktiv die Wärme/Kälte aus dem Untergrund entzieht oder im Fall der Speicherung einträgt. Wesentlich tiefere Erdwärmesonden sind ebenfalls möglich und wurden in der Schweiz vereinzelt als Alternative in einer nicht-fündigen hydrothermalen Explorationsbohrung verbaut. Beispiele sind die TEWS im Triemli, Zürich (2‘370 m tief, 2010 verbaut) und Weggis (2'295 m tief, 1994 verbaut).

## 5.3 Tiefe Grundwasserbrunnen

In der Schweiz handelt es sich bei tiefen Grundwasserbrunnen um offene Systeme im Lockergestein bis in Tiefen von rund 350 m, z. T. auch tiefer. Ähnlich wie im oberflächennahen Grundwasser werden tiefe Aquifere als Wärmequelle oder als thermische Speicher genutzt. In der Schweiz handelt es sich meist um Kieslagen, welche während der Eiszeiten in übertieften eiszeitlichen Rinnen abgelagert wurden. Häufig sind diese von mächtigeren Stillwassersedimenten überlagert und bilden somit grosse, zusammenhängende, abgeschlossene und kaum fliessende tiefe Aquifere, welche sich besonders gut als thermische Aquiferspeicher (ATES) eignen. Die Erschliessung erfolgt mit grösseren Bohrlöchern als bei der EWS (teleskopiert mit Bohrdurchmessern zwischen ca. 1’000 mm bis 250 mm), welche mit Filterrohren ausgebaut werden.

## 5.4 Hydrothermale Nutzungen

Wird natürlich vorhandenes, warmes Felsgrundwasser bzw. Thermalwasser geothermisch genutzt, so spricht man von hydrothermaler Geothermie. Es handelt sich um ein offenes System, bei dem das Heisswasser über eine Bohrung gefördert wird. Bei einer Dubletten-Nutzung wird das abgekühlte Wasser wieder mittels Rückgabebohrung in den Aquifer zurückgegeben. Ergänzungen mit weiteren Bohrungen sind möglich. Damit eine Nutzung möglich ist, wird ein durchlässiges und wasserführendes Gestein mit einem ergiebigen Aquifer benötigt. Für eine ausreichende Durchlässigkeit sind z. B. Karsthohlräume, geklüftete Gesteine, Bruchzonen oder poröse Gesteine notwendig. Abgesehen von den sedimentären Porenspeichern sind die grössten Erfolge in Bruch- bzw. Störzonen zu erwarten, welche aber zielgenau erschlossen werden müssen. Beispiele in der Schweiz für die hydrothermale Nutzung aus Kluftaquiferen im Muschelkalk in Verbindung mit Bruchzonen sind z. B. Riehen oder Bad Schinznach. In Zürich, Kloten, Bassersdorf und Kreuzlingen bestehen Beispiele für hydrothermale Nutzungen in porösen Sandsteinen und Konglomeraten in der Oberen Meeresmolasse. Grundsätzlich nimmt die Durchlässigkeit der Porenaquifere mit der Tiefe eher ab, sodass die hydrothermale Nutzung in der Schweiz primär für die Wärmenutzung geeignet ist. Mit Stimulationsmassnahmen kann die Förderleistung verbessert werden («optimierte Systeme» z. B. mit Einpumpen von Säure, um das Bohrloch besser an eine Störzone anzuschliessen). Thermische Leistungen liegen bei wenigen $MW_{th}$ (Bsp. Riehen 5 $MW_{th}$) bis ca. 40 $MW_{th}$ oder 5 $MW_{el}$ (Anlagen in Bayern). Hydrothermale Anlagen sind technisch ausgereift und es gibt in Europa viele funktionierende Anlagen. Allerdings sind diese immer von geologischen Voraussetzungen im Untergrund abhängig, sodass jeweils ein Fündigkeitsrisiko besteht. Die installierte elektrische Leistung aus Geothermieanlagen betrug im Jahr 2023 in Europa rund 3.5 $GW_{el}$ und die Wärme- und Kältenutzung ca. 30 $GW_{th}$ (EGEC Geothermal Marked Report 2023).

## 5.5 Tiefe Geothermie im gering durchlässigen Untergrund

### EGS (Enhanced Geothermal System)

Die petrothermale Geothermie oder EGS umfasst die Erschliessung tiefer, heisser Gesteinskörper, z. B. kristallines Grundgebirge, welche eine geringe Porosität, Klüftung und Durchlässigkeit aufweisen und in welchen somit kaum bis keine Felsgrund- bzw. Thermalwässer frei zirkulieren. Die petrothermalen Systeme sind noch im Anfangsstadium, hatten in der Vergangenheit mit Rückschlägen und Projektabbrüchen zu kämpfen und sind in Mitteleuropa noch nicht wirtschaftlich. Dafür sind diese Systeme weniger standortabhängig, sind nicht von Fündigkeitsrisiken abhängig und sind einfacher skalierbar.

EGS (auch als Deep Heat Mining oder Hot Dry Rock bezeichnet) sind künstlich erstellte Wärmetauscher in grosser Tiefe von rund 4 bis 5 km. Dafür werden das tiefe und heisse kristalline Grundgebirge oder andere homogene und kompetente Gesteine, welche generell gering durchlässig sind, mit Wasser, das in das Bohrloch gepumpt wird, aufgebrochen. Mit weiteren Bohrungen wird dann eine Zirkulation mit Wasser durch den künstlichen Wärmetauscher ermöglicht. Mit EGS wird in der Regel primär Strom produziert. In der Schweiz gab es einen ersten Versuch, ein künstliches geothermisches Reservoir im kristallinen Grundgebirge in 5 km Tiefe unter Basel zu schaffen, der aber aufgrund von spürbaren Erdbeben abgebrochen wurde. Derzeit wird mit sanfteren Stimulationsmethoden (Multi-Stage-Stimulation) und somit reduzierten Erdbebenrisiken ein neuer Anlauf im Jura genommen (Projekt Haute-Sorne). Im Gegensatz zur hydrothermalen Nutzung ist EGS geologisch eher ortsunabhängig

und ist nicht an lokale Bruchzonen gebunden. Angestrebte Leistungen liegen bei 5 $MW_{el}$ (Bsp. Basel und Haute-Sorne) bis einige 100 $MW_{el}$ (Bsp. 400 $MW_{el}$ Cape Station Projekt in Utah).

**AGS (Advanced Geothermal System)**

AGS ist ein geschlossenes geothermisches System ebenfalls im tiefen, generell dichten Untergrund und dient primär auch für die Stromproduktion. Es werden in mehreren Kilometer Tiefe kilometerlange horizontale Bohrlöcher gebohrt, so dass geschlossene Kreisläufe entstehen, in welchen ein Wärmeträgermedium fliesst und ähnlich wie bei einer Erdwärmesonde die Wärme an die Oberfläche bringt. Generell werden die horizontalen Stränge der Bohrungen nicht wie üblich mit Rohren ausgebaut, sondern bleiben offen oder die Bohrlochwand wird mit einem «Dichtemittel» versiegelt. Bisher ist AGS im Pilot-Stadium und aufgrund der sehr hohen Bohrkosten nicht wirtschaftlich. Eine erste, grossmassstäbliche Pilotanlage entsteht derzeit in Bayern in Geretsried (Eavor-Loop). Nach 2.5 Jahren Bohren und immensen Kosten wurde in ersten Versuchen eine bescheidene Leistung von 0.5 $MW_{el}$ (linkedin posts) erreicht. Dies und insbesondere die daraus hervorgerufenen Diskussionen bestätigen, dass wir auch bei solch künstlichen Reservoiren in der Tiefengeothermie noch ganz am Anfang stehen.

# 6 Geothermie in der Schweiz

## 6.1 Geothermische Projekte in der Schweiz

Die geringe Anzahl von Geothermieprojekten mit Tiefbohrungen in der Schweiz und wenigen Erfolge zeigen die Problematik auf, dass in der Schweiz nicht wie etwa in Bayern regionale und weit verbreitet gut durchlässige Tiefenaquifere vorliegen, welche mit vergleichsweise hohen Erfolgschancen erschlossen werden können. In der Schweiz ist die Geothermie überwiegend an lokale durchlässige Phänomene wie z. B. Bruch- bzw. Störzonen gebunden, wodurch sich das Fündigkeitsrisiko erhöht. Zudem ist die Erkundung in einigen Gebieten noch spärlich und somit der Kenntnisstand zum Untergrund, insbesondere zu den lokalen Strukturen gering. Gleichwohl ist eine erfolgreiche und langfristige geothermische Nutzung möglich, wie einige bestehende Anlagen z. B. in Riehen, Bad-Schinznach oder Yverdon zeigen.

## 6.2 Notwendige Voraussetzungen für eine geothermische Nutzung

Die erfolgreiche Umsetzung einer geothermischen Erschliessung hängt von verschiedenen Parametern ab, welche sich für offene, künstliche und geschlossene Systeme unterscheiden. Die wichtigsten Parameter für die thermische Leistung sind unabhängig vom System die Temperatur und der Durchfluss. Für die Erzeugung von Wärme oder Strom sollten beide hohe Werte aufweisen. Die Temperatur ist weniger kritisch, da sie mit den bestehenden Daten gut prognostiziert werden kann (je nach Tiefe bis ±10°C; abgesehen von wenigen Ausnahmen wie z. B. Vinzel-1). Hingegen zeigen die verschiedenen hydrothermalen Projekte in der Schweiz, dass die Förderrate stark variieren kann (von 0 bis 150 l/s) und schwer zu prognostizieren ist. Die Förderrate hängt stark von der Durchlässigkeit des Gesteins ab. In der Schweiz ist diese generell an Bruch- und Störzonen, also geklüftetes (und z.T. durch Verkarstung überprägt) Gestein, gekoppelt. Diese sind aber nur lokal vorhanden und müssen daher punktgenau erbohrt werden. Insbesondere Geothermieprojekte mit dem Ziel der Stromerzeugung setzen auf EGS oder AGS, da diese Techniken nicht von lokalen Bruch- und Störzonen abhängig sind. Das Reservoir wird in homogenen Gesteinskörpern wie z. B. dem kristallinen Grundgebirge künstlich hergestellt. Neben den geologischen Voraussetzungen spielen auch die Bohrkosten, der Erkundungs- und Reifegrad, der Standort und die Akzeptanz eine Rolle.

# 7 Aufbau und Eigenschaften des Untergrunds im Kanton Zug

## 7.1 Strukturgeologische Querprofile

Für die Studie wurden zwei neue strukturgeologische Querprofile durch den Kanton Zug konstruiert (Abb. 4 und Abb. 5; Spur der Profile auf Abb. 1). Sie wurden so gewählt, dass sie zum einen den Untergrund vom gesamten Kanton Zug repräsentativ abbilden und zum anderen, dort verlaufen, wo ausreichend Daten vorhanden sind (massgeblich entlang von seismischen Profilen). Angepasst an den Massstab und Auflösungsgenauigkeit der Daten ist der Untergrund vereinfacht dargestellt, d.h. kleine Brüche und Falten wurden nicht übernommen bzw. können auf der bestehenden Datengrundlage ohnehin nicht definiert werden. Die Kleinstrukturen sind für die Definition potenzieller Bohrziele oder Erkundungsbereiche ohnehin nicht von grosser Bedeutung. Die tiefgelegenen Strukturen auf den Profilen (z. B. Permokarbon) stellen nur erkannte Indizien auf der Seismik dar und können stark von der tatsächlichen Realität abweichen. Deshalb sind auf jedem Querprofil die Datengrundlage und die daraus resultierenden Unsicherheiten angegeben.

Das genaue Wissen über den strukturellen Aufbau vom Untergrund ist entscheidend für die Definition und Lokalisierung von geothermischen Plays und die Bestimmung der zu erwartenden Temperaturen. Neben den strukturgeologischen Querprofilen ist auch die Lithologie (Gesteinsart) der verschiedenen Gesteinspakete wichtig. Die Lithologie definiert, wie eine Schicht auf Deformation reagiert, also ob diese z. B. ausreichend geklüftet und entsprechend durchlässig und wasserführend sein kann (eine kompetente Gesteinsart etwa wie ein Kalkstein ist beispielsweise besser geeignet als ein inkompetenter Tonstein). Aufgrund der fehlenden Tiefbohrungen beruhen die Angaben auf der Korrelation mit Aufschlüssen an der Oberfläche und umgebenden Tiefbohrungen. Für die Gesteine, welche an der Oberfläche aufgeschlossen sind, ist die Lithostratigraphie gut bekannt und mehrfach beschrieben.

Die beiden Querprofile zeigen die Tiefenlage und Strukturierung der wichtigsten Einheiten: Molasse und darunter das Mesozoikum, welches nach Süden einfällt und das Grundgebirge mit Permokarbon (siehe Definition der Einheiten in Kapitel 4). Der Aufbau und die Zusammensetzung der Molasse sind nördlich der Alpenfront gut bekannt, da es mehr Bohrungen gibt, die diese durchbohrt haben, und durch die Schrägstellung der Schichten, ein Grossteil des gesamten Schichtpakets der Molasse über weite Strecken an der Oberfläche aufgeschlossen ist. Gesamthaft handelt es sich um eine Abfolge von siliziklastischen Sedimenten, die sich aus dem Abtragungsschutt der werdenden Alpen gebildet hat. Sie besteht aus Wechselfolgen von häufig bunten, also rötlichen, grauen und beigen Ton-/Siltsteinen, Mergeln, Sandsteinen und Nagelfluhbänken in variierender Mächtigkeit, Durchmischung und Verteilung. Dabei wird zwischen der mittelländischen, aufgestellten und der Subalpinen Molasse unterschieden. Das Untersuchungsgebiet liegt im Übergang der drei Subeinheiten und somit in einem Bereich, in dem die Molasse stark deformiert, also gefaltet, steil gestellt und verschuppt bzw. überschoben ist. Solche gestörten Zonen können grundsätzlich durch die Deformation geklüftet und folglich durchlässig sein, aber nur, wenn die Hohlräume nicht später durch Ausfällungen wieder geschlossen wurden, wie unter anderem einige Bohrungen wie Weggis-1 mit dichten Stör- bzw. Bruchzonen zeigen (Greber et al., 1994).

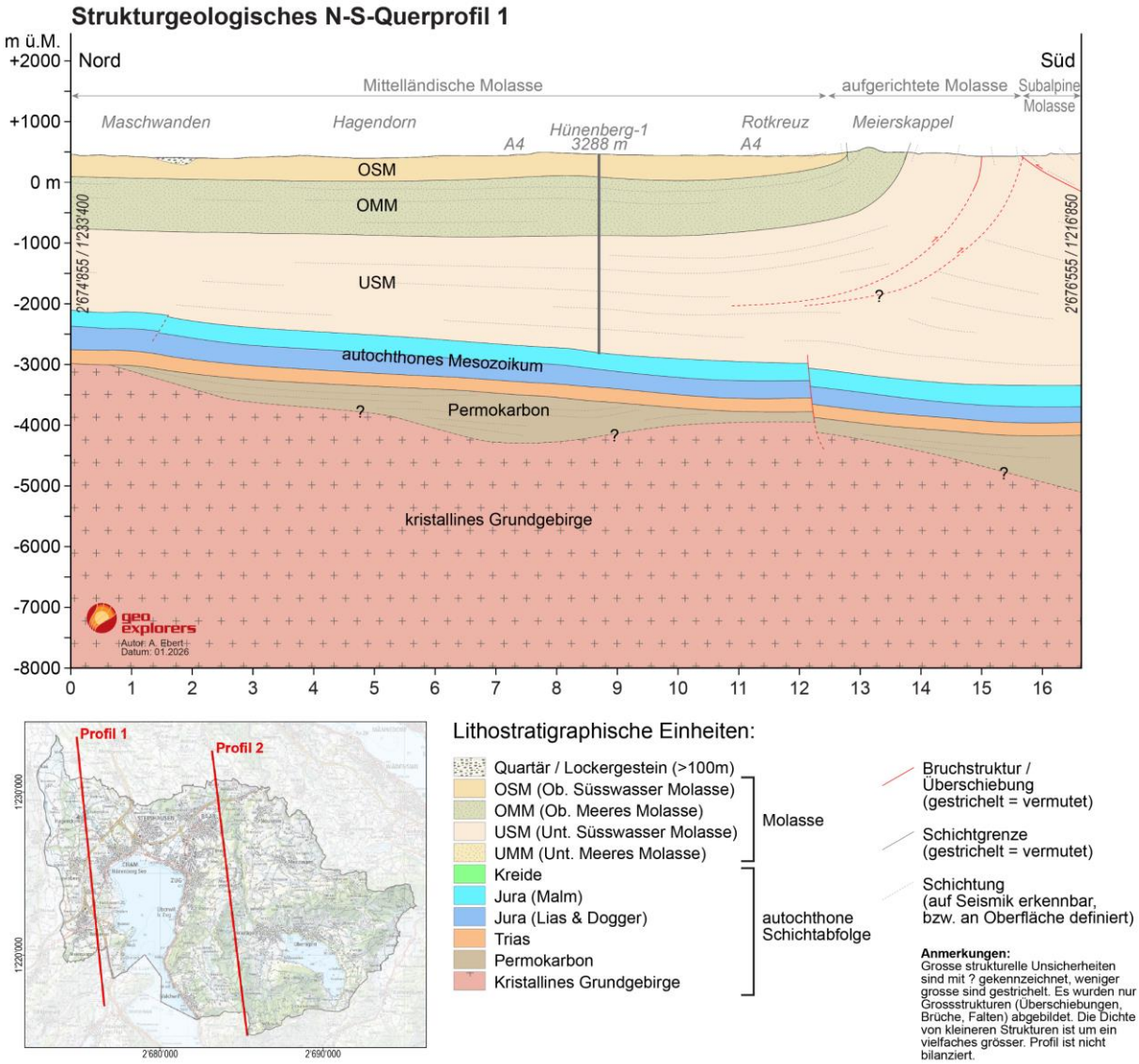



**Abb. 4 Querprofil 1 durch Hagendorn und Rotkreuz**

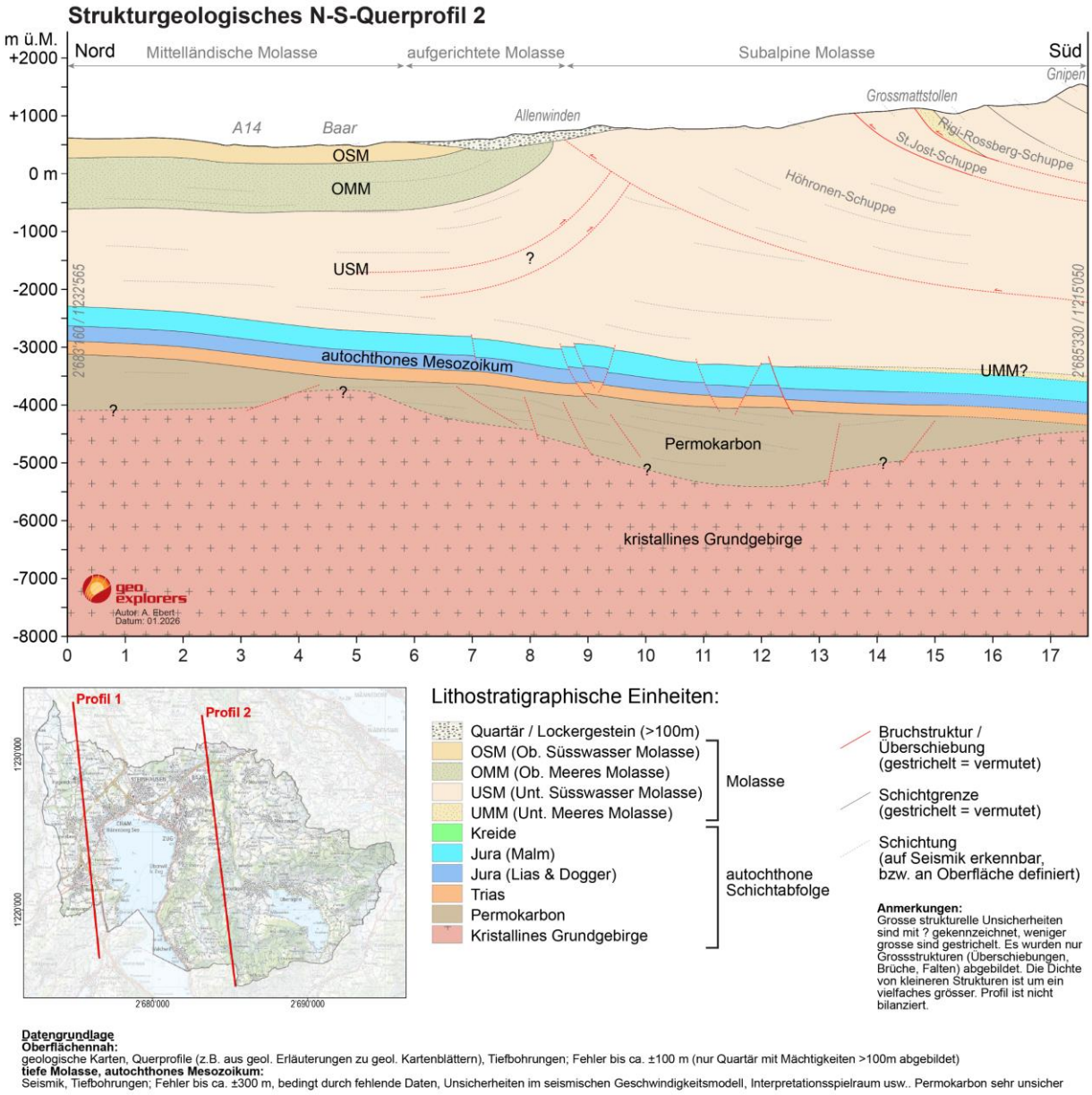



**Abb. 5 Querprofil 2 durch Baar bis zum Rossberg**

Die unter der Molasse liegende Schichtabfolge des autochthonen Mesozoikums kann dank der vorliegenden und reprozessierten Seismik vergleichsweise gut definiert werden. Allerdings liegen nur Daten in Zeit vor und somit bleibt in der Tiefenlage ein gewisser Fehler bestehen . Dank der Bohrung Hünenberg-1 kann aber das Top Malm einer Tiefe zugeordnet werden. Die Lithologien und Gesteinseigenschaften können nur auf Basis von Bohrprofilen aus umliegenden Tiefbohrungen abgeleitet werden. Grösstenteils handelt sich um eine Abfolge von marinen Kalksteinen, kalkigen/dolomitischen Mergeln und siltigen Tonsteinen. Vereinzelt sind Dolomite, Sandsteine und Evaporite (Gips, Anhydrit, Salz) eingeschaltet. Von Bedeutung für die Geothermie sind z.B. die Malm-Kalke oder kompetente Gesteine im Muschelkalk. Genauere Beschreibungen finden sich in den Potenzialstudien der umliegenden Kantone.

## 7.2 Untergrundtemperaturen

Damit eine geothermische Nutzung erfolgreich ist, sind geothermische Plays notwendig[3], welche möglichst hohe Temperaturen und eine ausreichende Durchlässigkeit bzw. gute Speichereigenschaften (hohe Porosität, geeignete Grundwasser-Fliessgeschwindigkeit und geringe Energieverluste) aufweisen. Je nach Nutzungsart werden unterschiedliche Anforderungen gestellt.

Die Geothermische Karte der Schweiz[4] zeigt für den Kanton Zug einen mittleren Oberflächenwärmefluss von rund 80 bis 90 mW/m$^2$. Der Oberflächenwärmefluss ist für ein Tiefengeothermieprojekt jedoch keine kritische Grösse, da man lediglich an der Temperatur in der Zieltiefe interessiert ist und diese in der Regel nicht aus dem Oberflächenwärmefluss abgeleitet werden kann. Man sollte sich deshalb auf die Temperaturinformationen aus bestehenden Tiefbohrungen abstützen. Der Wärmefluss ermöglicht aber, thermische Anomalien zu erkennen, welche z. B. durch aufsteigende Thermalwässer verursacht sein können.

Abgesehen von lokalen Anomalien ist eine Prognose der Untergrundtemperaturen im Kanton Zug möglich. Die Temperaturvariationen mit der Tiefe sind für die Definition des geothermischen Potenzials unkritisch. Auf den nachfolgenden Querprofilen in Abb. 6 und Abb. 7 sind die zu erwartenden Felstemperaturen für 40 °C, 70 °C, 100 °C und 140 °C überlagert. Die Tiefenlagen wurden aus den gemittelten Messdaten aus den Bohrungen (in den Abbildungen rechts unten abgebildet) übernommen. Die Balken auf den Querprofilen spiegeln den möglichen Fehlerbereich basierend auf den Messdaten wider.

Die wichtigsten Schichteinheiten, die für eine geothermische Nutzung im Studiengebiet in Frage kommen (Brüche im Mesozoikum) liegen in Tiefenbereichen, welche Temperaturen von ca. 80 bis 150 °C aufweisen, also für die Direktwärmenutzung oder Stromerzeugung geeignet wären; siehe auch Potenzialübersicht zu den verschiedenen Plays.

[3] Definition siehe Glossar
[4] siehe map.geo.admin.ch, Wärmestromdichte 500

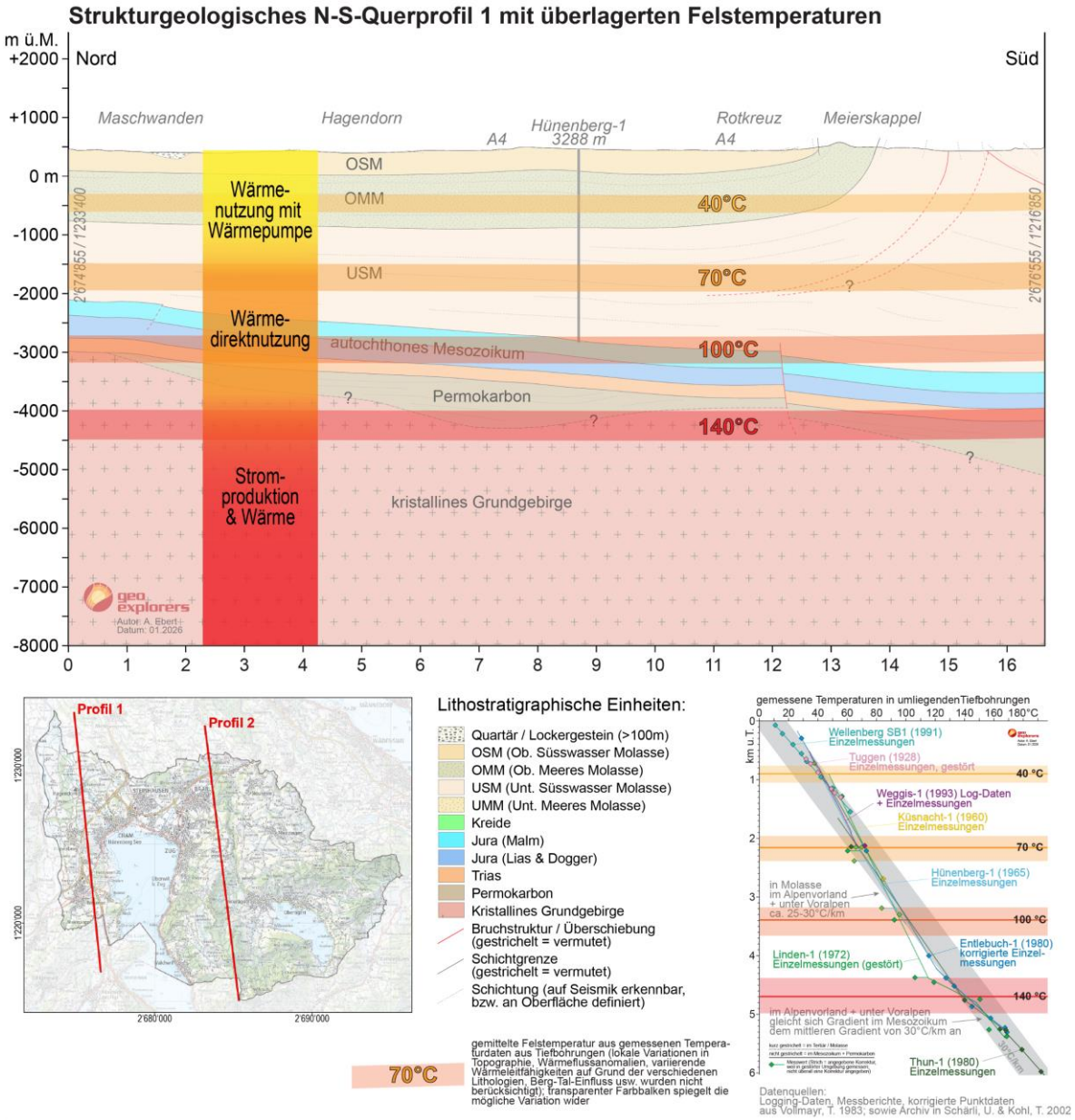



**Abb. 6 Querprofil 1 mit überlagerten Felstemperaturen**

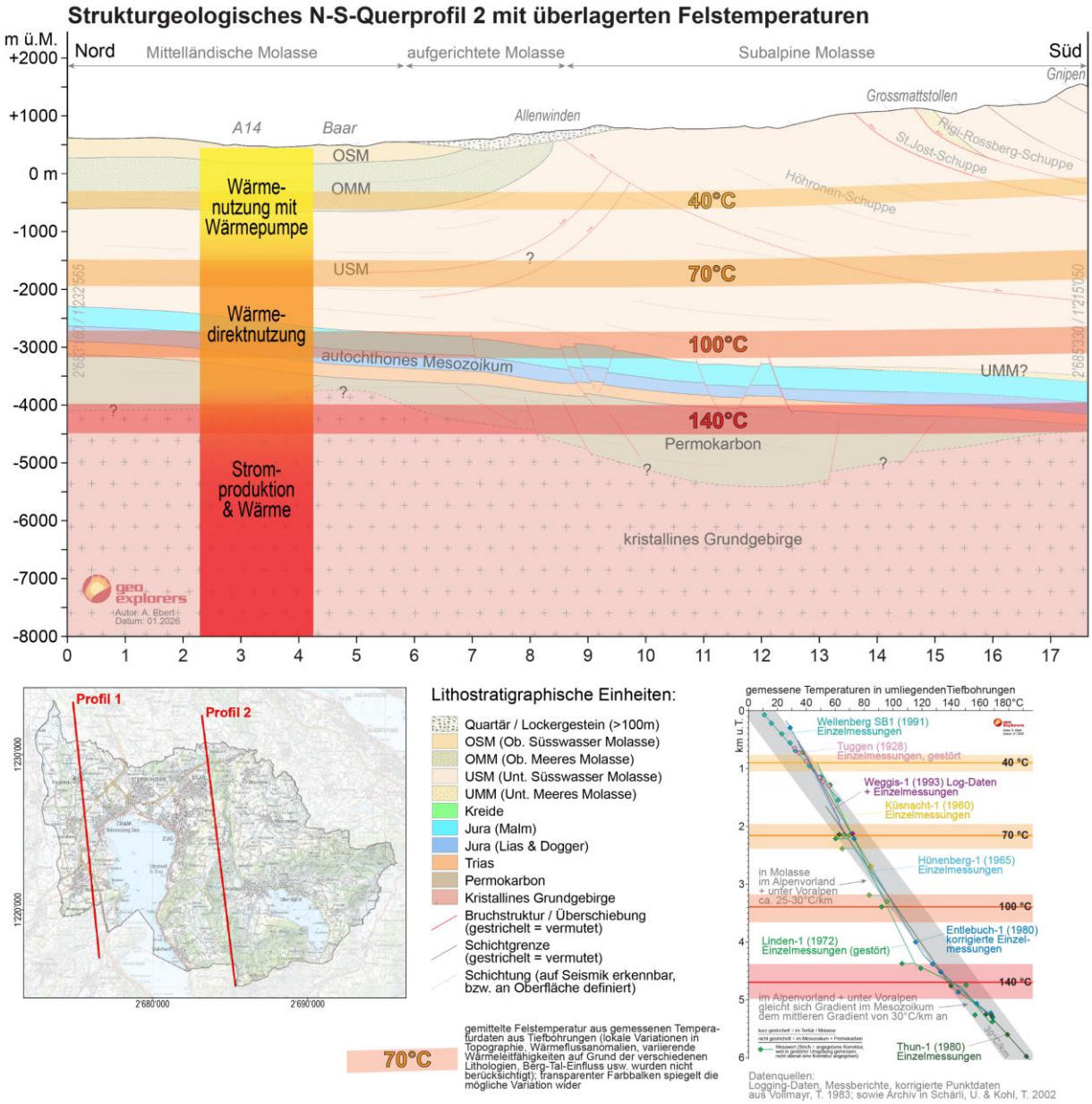



**Abb. 7 Querprofil 2 mit überlagerten Felstemperaturen**

## 7.3 Durchlässigkeiten der Gesteinsschichten

(Zusammenfassung aus Studie NW-OW)

Die geothermische Nutzung hängt stark von der Durchlässigkeit der Gesteine ab. Da im Untersuchungsgebiet kaum Tiefbohrdaten existieren, dienen Daten aus der Nordschweiz und umliegenden Tiefbohrungen als Vergleich.

- Höchste Durchlässigkeiten werden in geklüfteten Gesteinen der Malmkalke und im Muschelkalk entlang von Bruchzonen erwartet; eine Matrixporosität ist aber zu gering; dies bestätigen verschiedene Tiefbohrungen wie z.B. Entlebuch-1.
- Paläokarst am Top Malm kann lokal, wenn er nicht durch Boluston verfüllt ist, gut durchlässig sein, ist aber schwer vorhersagbar (Bsp. Tiefbohrung Entlebuch-1, Vollmayr & Wendt, 1987).
- Tiefe reduziert die Durchlässigkeit generell deutlich; offene Klüfte können durch Mineralisation wieder verschlossen werden.
- Bruch- und Störzonen sind entscheidend für wirtschaftlich nutzbare Aquifere. Beispiele: Riehen erfolgreich, Reinach trotz gleicher Schichten nicht, da nicht die Störzone durchbohrt.
- Muschelkalk ist in der Nordschweiz ein Hauptaquifer, im Untersuchungsgebiet aber gemäss Bohrung Entlebuch-1 dünner/mergeliger und somit evtl. weniger geeignet.
- Kristallin kann auf Grund Klüftung/Verwitterung durchlässig sein, aber gemäss bestehender Datengrundlage eher nur in oberflächennahen Bereichen; mit grossen Tiefen und unter Permokarbon wie im Studiengebiet wahrscheinlich eher zu wenig durchlässig.
- Molasse ist auf Grund der Diagenese und Versenkung im südlichen Molassebecken und in der Subalpinen Molasse überwiegend dicht und wenig porös; auch entlang Bruchzonen durch nachträgliche Ausfällungen von Kalzit in Hohlräumen undurchlässig (vgl. mit Bohrung Weggis-1 und weiteren in ähnlicher geol. Lage).
- Quartäre Rinnen können sehr hohe Durchlässigkeiten aufweisen (Schotterkörper) und werden im Kanton Zug bereits genutzt.

# 8 Playregister im Kanton Zug

Im Rahmen eines Projektes der Swisstopo und des Kantons Aargau ("play based exploration", Play-Definition siehe Glossar) im Jahr 2023 wurde am Beispiel des Muschelkalks von Geo Explorers AG ein Playregister erstellt. Dies zeigt, dass selbst innerhalb einer spezifischen Schicht verschiedenste struktur- und hydrogeologische Voraussetzungen vorliegen können. Diese sollten beachtet werden, damit das beste geothermische Play gefunden werden kann.

Auf der Übersicht in Abb. 8 werden die wichtigsten geothermischen Plays im Kanton Zug dargestellt und auf den Querprofilen in Abb. 9 und Abb. 10 exemplarisch lokalisiert. Auf den Karten auf der Potenzialübersicht in Abb. 12 werden die möglichen Plays eingegrenzt (rote Flächen). Da der Kenntnisstand insbesondere für die tiefen Plays gering ist und somit z. B. lokale Bruchstrukturen vereinzelt zwar auf der Seismik erkennbar sind, aber lateral nicht weiterverfolgt werden können, sind die roten Flächen auf den Karten so zu verstehen, dass in diesen Gebieten das Potenzial besteht, die notwendige Schicht und allfällige Bruchzonen

anzutreffen. Könnten die Bruchstrukturen genau lokalisiert und verfolgt werden, so könnten Gebiete von Verwerfungszonen ausgeschieden werden.

Die meisten und die **erfolgversprechendsten Plays sind an Bruch- bzw. Störzonen gebunden, vorteilhaft, dort wo sich Bruchzonen zusätzlich kreuzen.** Dort wo kompetente Gesteine von den Bruchzonen durchzogen sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Gesteine geklüftet und somit durchlässig und wasserführend sind. Solche Zonen eignen sich potenziell für die geothermische Nutzung. Der Vergleich zwischen erfolgreichen und nicht-fündigen Bohrungen in der Schweiz deutet daraufhin, dass die **grössten Erfolgschancen dort bestehen, wo die Bruch- bzw. Störzonen eher weniger tief vorliegen und zusätzlich durch offenen und tiefgründigen Paläokarst überprägt sind**. Entlang dieser Bruchzonen kommen alle oben erwähnten Gesteinsschichten in Frage, die zur Klüftung und im Fall von Karbonaten zusätzlich zur Verkarstung neigen (im Wesentlichen reine Kalksteine und kristallines Grundgebirge). Um die Übersichtlichkeit zu wahren und aufgrund des geringen Datenstands wird auf weitere Unterteilungen der Play-Typen (z.B. Play-Typen im Muschelkalk unterteilt nach verschiedenen Bruchsystemen) verzichtet. Im Fall zukünftiger Detailanalysen einer lokalen Struktur oder Schicht im Untersuchungsgebiet macht es aber Sinn, die Play-Typen mit zunehmendem Kenntnisgewinn während der Erkundung zu verfeinern.

In Abb. 8 sind die Play-Typen nach ihrer Tiefe sortiert und die zu erwartenden Tiefenlagen und entsprechenden Aquifertemperaturen angegeben. Da die Tiefenlage der Schichten nach Süden sowie der Bruchzonen variiert, ist für jedes Play ein Tiefen- bzw. Temperaturbereich angegeben. Die entsprechenden Plays kommen im Untersuchungsgebiet gebietsweise vor. Mögliche Nutzungen können mehrfach entlang ähnlicher km-langer und paralleler Bruchzonen reproduziert werden.

Das erste Play (links oben in Abb. 8) bezieht sich auf die basalen Kieslagen in übertieften **eiszeitlichen Rinnen**, welche nur lokal im Kanton vorkommen und bereits im Baarer Becken genutzt werden. Es bestehen noch weitere Vorkommen, welche erkundet werden könnten.

Unter der Oberfläche folgen die Plays der **Molasse**. Dieses kann in 2 Typen unterschieden werden: primär poröse Sandsteine und Nagelfluhbänke und geklüftete Sandsteine und Nagelfluhbänke entlang von Bruchzonen. Diese Plays liegen in einem Tiefenbereich von der Oberfläche bis zum autochthonen Mesozoikum. Da Sandstein- und Nagelfluhlagen der Molasse im südlichen Mittelland und in der Subalpinen Molasse in allen bisherigen Tiefenbohrungen zu gering porös und undurchlässig waren, ist das Potenzial der porösen Sandsteine/Nagelfluh als gering einzustufen (siehe Potenzialübersicht). Es hat sich aber auch in praktisch allen Tiefbohrungen in ähnlicher geologischer Lage gezeigt, dass auf Grund von Ausfällungen auch Klüfte entlang von Bruchzonen in der Molasse zu gering durchlässig sind bzw. keine verbundene Porosität aufweisen (vgl. z.B. mit Bohrung Weggis-1, Greber et al., 1994).

Darunter folgen die Plays des **autochthonen Mesozoikums** (i. W. Malmkalke und Karbonate des Muschelkalks). Diese Play-Typen betreffen die Klüftung entlang von Bruch- und Störzonen in kompetenten Gesteinen, sowie lokaler nicht durch Boluston verfüllter, oftmals zusätzlich geklüfteter und nur dann potenziell durchlässiger Paläokarst am Top Malm. Wie die Karten zeigen, können diese Plays im weiten Gebieten des Kantonsgebiets in variierenden Tiefen erwartet werden. Wie oben erläutert, ist es derzeit mit den bestehenden Daten nicht möglich, Bruchzonen und Paläokarst zu kartieren.

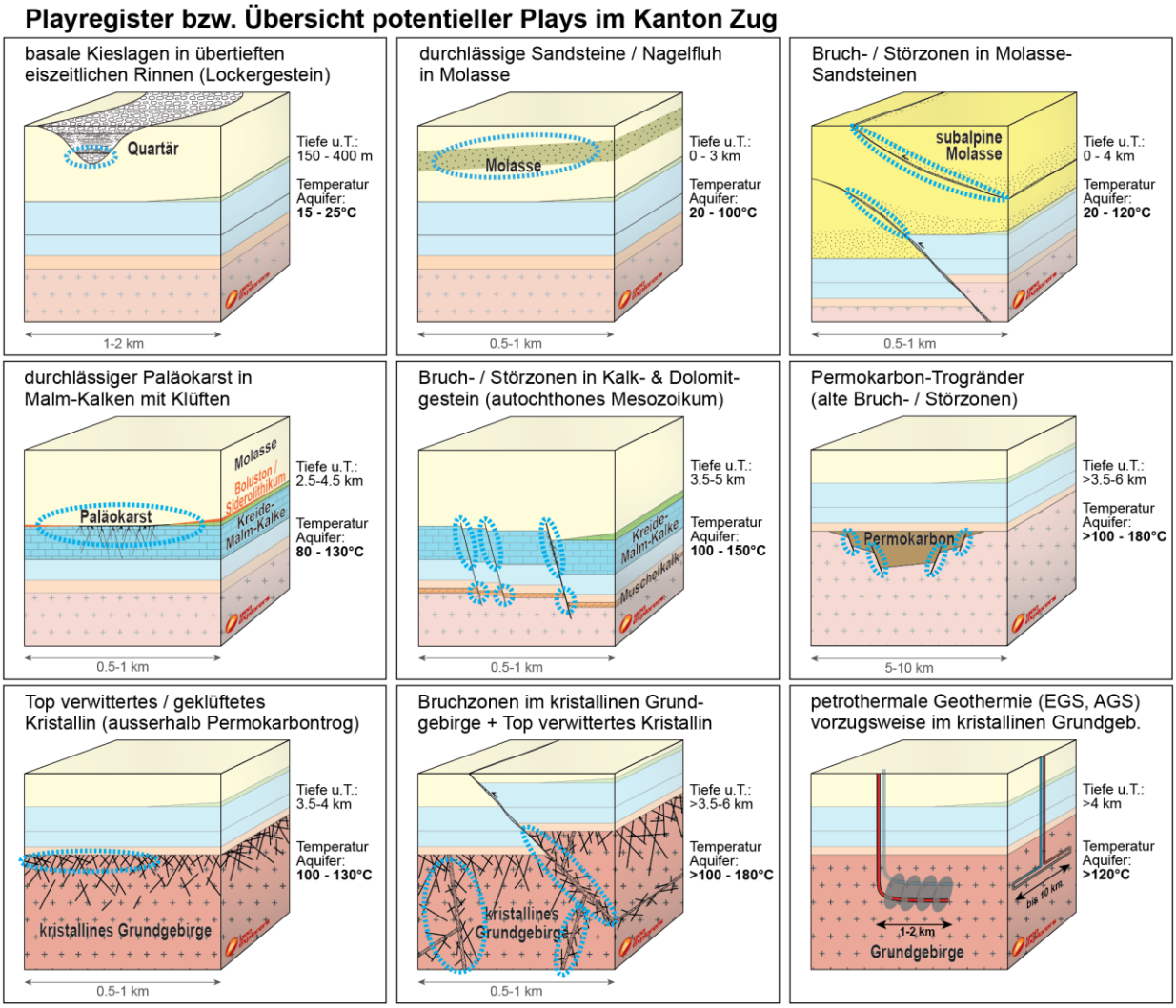



**Abb. 8 Mögliche geothermische Plays im Kanton Zug**

Die Plays des darunterliegenden **Grundgebirges** betreffen ebenfalls die Klüftung entlang von Bruch- und Störzonen im kristallinen Grundgebirge, die ehemals verwitterte Oberfläche des Kristallins (vorzugsweise dort, wo nicht oder nur kaum von Permokarbon überdeckt), sowie sehr alte Bruchzonen entlang den Trogrändern der Permokarbon-Vorkommen. Allerdings wurden letztere in der Schweiz noch nie geothermisch erkundet oder angebohrt und getestet. Wie die Karten auf der Potenzialübersicht zeigen, liegen auch diese Plays im ganzen Kantonsgebiet ebenfalls in variierenden Tiefen vor. Auf Grund der unzureichenden Datenlage können diese Plays nur hypothetisch bewertet werden. Auf der bestehenden Seismik können z.B. Bruchzonen oder Permokarbon-Trogränder nicht weiter eingegrenzt werden.

Das letzte Play in Abb. 8 steht für die **petrothermalen Systeme** im kristallinen Grundgebirge, also die Erzeugung von künstlichen geothermischen Reservoiren im tiefen und überwiegend dichten Kristallin. Letztere wäre auch in homogenen und kompetenten Gesteinen (z. B. Malmkalke) möglich, falls diese nicht von Bruchzonen oder Karst durchzogen sind.

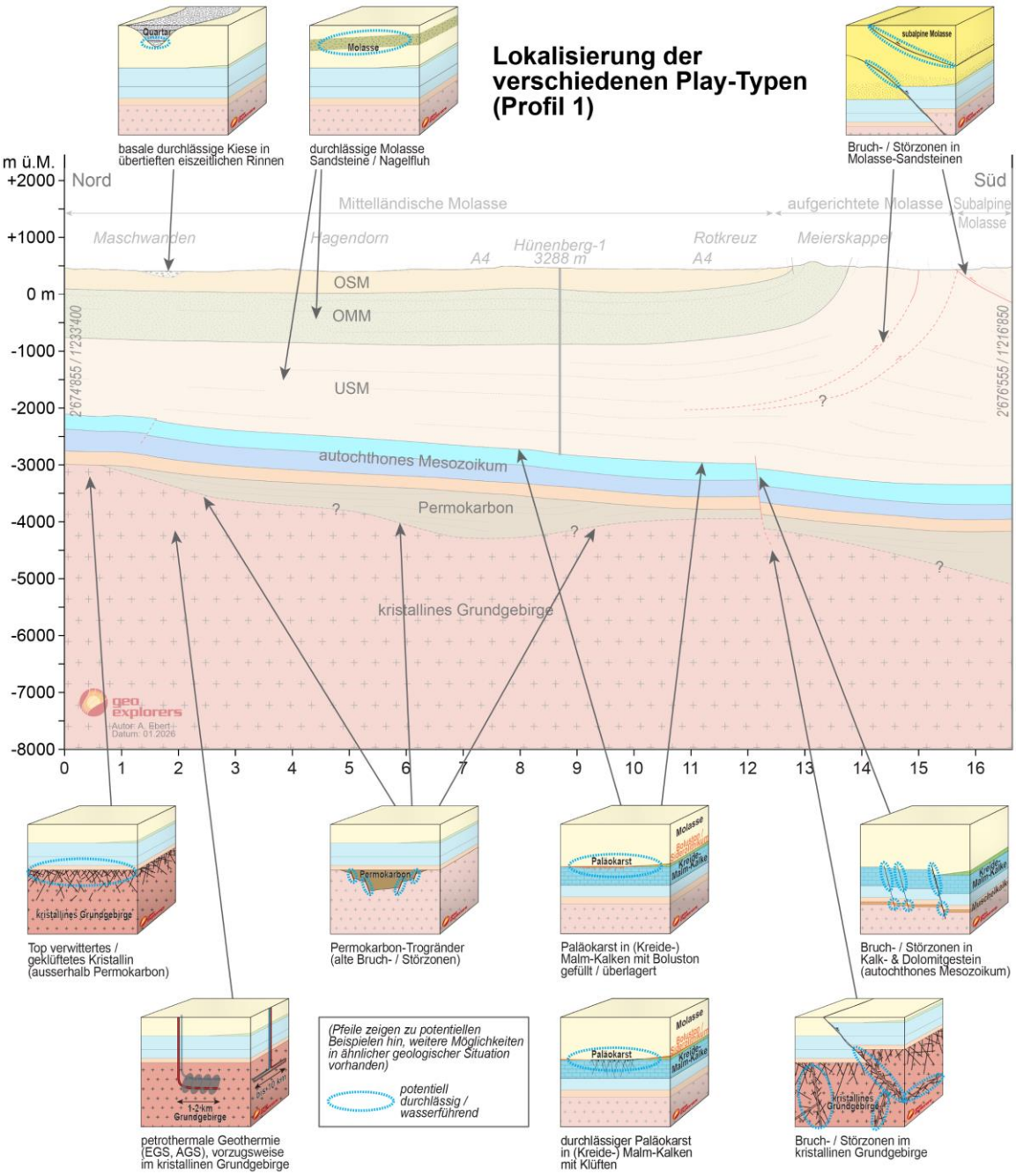



**Abb. 9 Querprofil 1 mit exemplarischen Play-Typen**

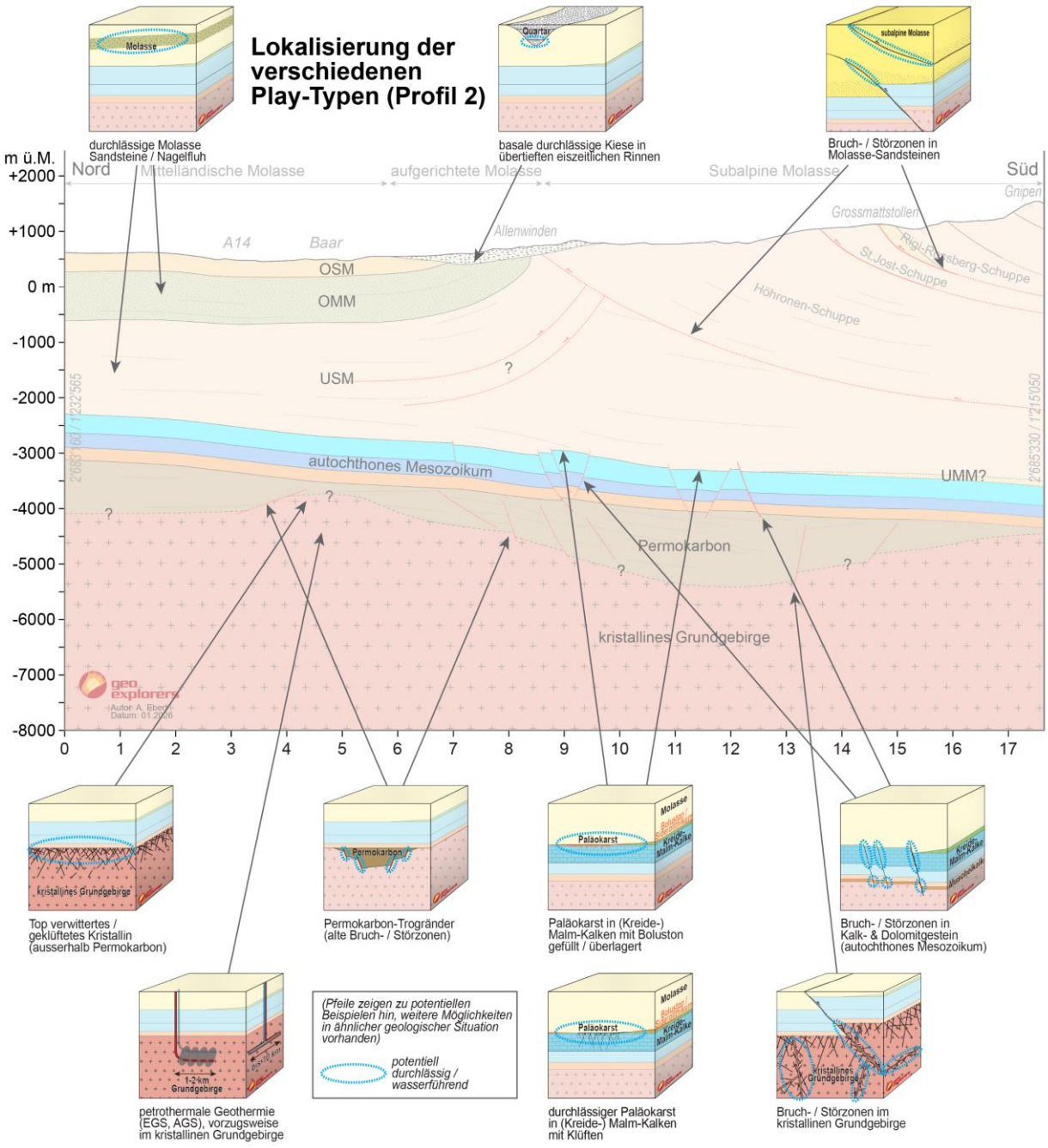



**Abb. 10 Querprofil 2 mit exemplarischen Play-Typen**

# 9 Geothermisches Potenzial

## 9.1 Notwendige Voraussetzungen

(Kurzfassung aus Studie NW-OW / SG)

Das geothermische Potenzial hängt im Wesentlichen von den beiden Parametern Temperatur-Spreizung und Schüttungsrate ab. Die thermische Leistung berechnet sich entsprechend aus $P_{th} = c*Q*\Delta T$ mit c = spez. Wärmekapazität, Q = Wasserfluss in l/s, $\Delta T$ = Temperaturspreizung.

**Genauer wird das geothermische Potenzial bestimmt durch:**

- die Ergiebigkeit der wasserführenden Zonen, welche wiederum geprägt sind durch
  - die Durchlässigkeit und Porosität der Gesteine
  - die Mächtigkeit / das Volumen der durchlässigen Zonen
  - das Vorhandensein von Felsgrundwasser
- die Untergrundtemperatur, welche wiederum geprägt ist durch
  - den geothermischen Gradienten / Wärmefluss
  - den Zufluss warmer Tiefenwässer
  - den Einfluss durch eindringende kalte Oberflächenwässer
- den Motor für Felsgrundwasserfluss, welcher einen dauerhaften Zufluss an konvektiver Wärme garantiert und die Richtung der Zuflüsse definiert. Dieser wird bestimmt durch
  - das allgemeine Druckpotenzial am Projektstandort
  - das Druckpotenzialgefälle im Aquifer (= Grundwasserleiter)
  - die Infiltration bzw. das Quellgebiet und Zuflussgebiet.

## 9.2 Erfolgswahrscheinlichkeit

Für die Bewertung des geothermischen Potenzials kann der probability of success (POS) angewendet werden. Der POS kommt aus der Erdölindustrie und quantifiziert das Potenzial einer Ressource: POS = P1*P2*P3*P4 (P1 = Reservoir, P2 = Trap, P3 = Source bzw. petroleum charge, P4 = Retention). P = 0 steht für nicht vorhanden bzw. maximales Risiko und P = 1 steht für 100% sicher bzw. kein Fündigkeitsrisiko. Dies kann in der Geothermie ähnlich angewandt werden und je nach geothermischem System kann dies angepasst und erweitert werden (bisher gibt es für die Geothermie noch keinen Standard). Da aber zu wenige Daten vorliegen, wird auf der nachfolgenden Potenzialübersicht nur zwischen geringen, mittleren bis hohen Fündigkeitschancen unterschieden.

Zur Visualisierung der Abhängigkeit der Erfolgswahrscheinlichkeit von der angenommenen Schüttungsrate und Aquifertemperatur bzw. geothermischen Leistung wird auf die nachfolgende Abb. 11 verwiesen. Es ist naheliegend, dass eine hohe Leistung mit hohen angenommenen Schüttungsraten und Temperaturen eine geringere Erfolgswahrscheinlichkeit aufweist als im Fall von konservativen bzw. tiefen Annahmen. Eine solche Abbildung hilft dabei abzuschätzen, wieviel Risikokapital sich rechtfertigen lässt.

Die Erfolgschancen pro Play für die aufgeführten Schüttungsraten sind in Abb. 12 angegeben.

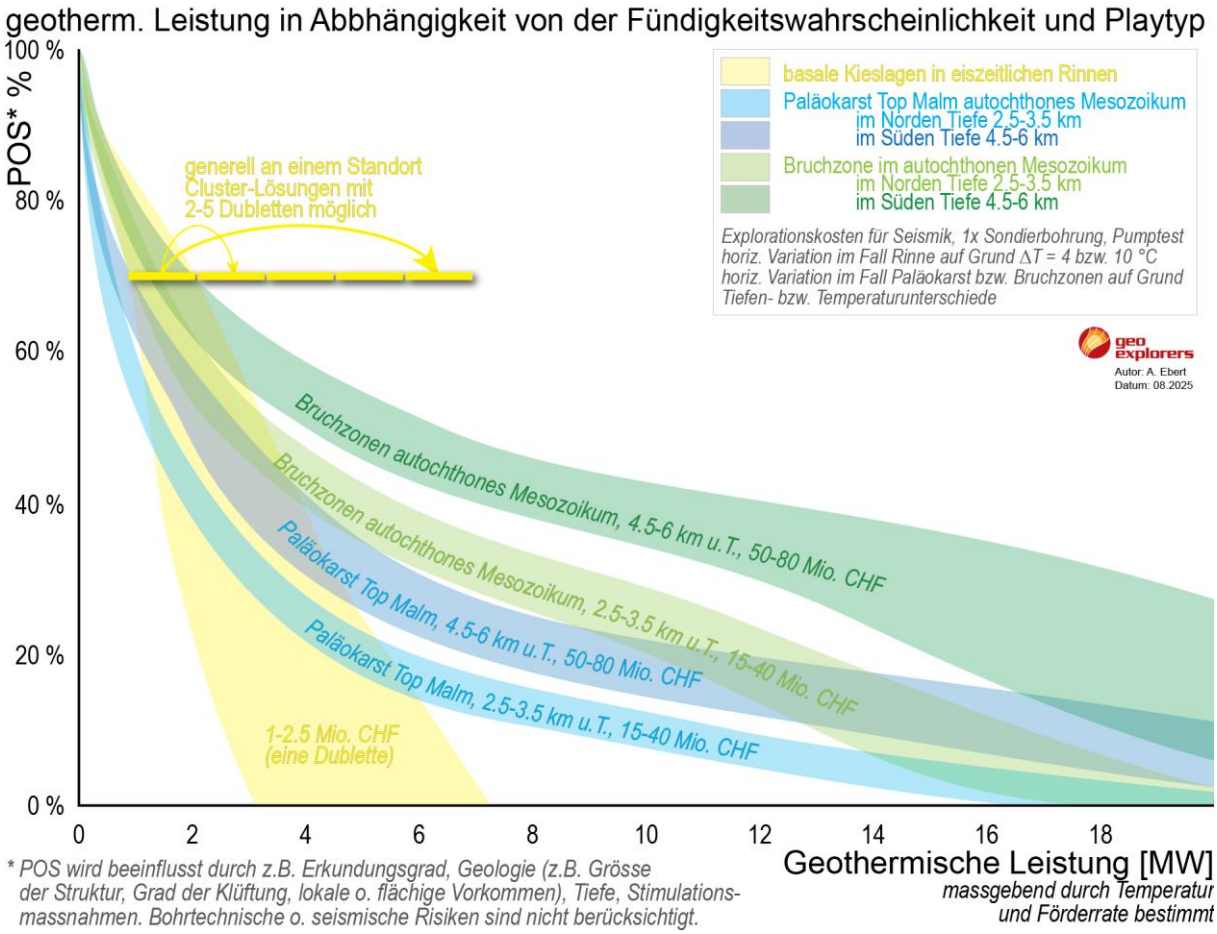



**Abb. 11 Erfolgswahrscheinlichkeit versus geothermische Leistung**

## 9.3 Geothermisches Potenzial pro Play im Kanton Zug

### 9.3.1 Übersicht Play-Potenziale

In Abb. 12 wird das geothermische Potenzial pro Play im Untersuchungsgebiet abgeschätzt und bewertet. Es werden für die potenziellen Plays/Aquifere die Temperatur, die Bandbreite möglicher Schüttungsraten (abgeleitet von Erfahrungswerten aus anderen Projekten in ähnlicher geologischer Situation), die Erfolgswahrscheinlichkeit hinsichtlich prognostizierter Schüttungsrate und die abgeleitete thermische Leistung pro Bohrung bzw. Brunnen angegeben. Zudem werden die Anzahl möglicher Brunnendubletten im Kanton und der mögliche Energiebezug (Wärme) pro Jahr abgeschätzt. Auf einer Karte werden mögliche Erschliessungsgebiete ausgeschieden.

Die zu erwartenden realistischen Schüttungsraten liegen bei den attraktivsten Plays (i. W. Bruchzonen und Paläokarst im Mesozoikum) zwischen rund 5 bis 20 l/s (sehr optimistisch vielleicht auch 50 l/s); im Fall der basalen Schotter in den eiszeitlichen Rinnen bei 20 bis 80 l/s. Da diese Plays in verschiedenen Tiefenlagen angetroffen werden, variieren die zu erwartenden Felstemperaturen entsprechend zwischen rund 80 bis 150 °C (15 bis 25 °C in den basalen Schottern der Rinnen). Realistische thermische Entzugsleistungen liegen folglich je nach Schüttungsrate und Temperatur bei rund 0.5 bis 10 $MW_{th}$ pro Brunnen. Konservative Werte

sollten aber eher bei 0.5 bis 5 $MW_{th}$ angesetzt werden. Die Fündigkeitschancen für die erwarteten Schüttungsraten müssen je nach Play, dessen Tiefe, Erkundungs- und Wissensstand mit gering bis mittel (alle tiefen Plays) sowie mittel bis hoch (eiszeitliche Rinnen) eingeschätzt werden. Aufgrund der Vorkommen unzähliger Bruchzonen sind pro Play mehrere Förderbrunnen bzw. Brunnendubletten möglich. Auch können mehrere Plays gleichzeitig erkundet werden, was die Erfolgschancen erhöht. Damit verteilen sich die finanziellen Risiken auf mehrere potenzielle Nutzer

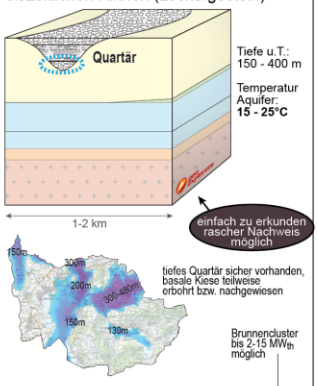
**Abb. 12 Abschätzung geothermisches Potenzial pro Play (hochauflösend im Anhang)**

Farben auf den Karten zeigen die möglichen Gebiete der Vorkommen an. Grüner Text bedeutet, dass das Verhältnis von angestrebter Förderleistung und Reproduzierbarkeit zu Fündigkeitschancen, Erkundungsdauer und Kosten am erfolgversprechensten sind. Orange und insbesondere Rot bedeuten, dass die Fündigkeitschancen für grosse Schüttungsraten sowie Reproduzierbarkeit und Explorationskosten nach derzeitigem Wissensstand und Explorationskosten sehr ungünstig sind. Zudem gilt: höhere Fündigkeitschancen im Kreuzungsbereich mit steil stehenden Brüchen, die quer zu den Verwerfungen stehen; Bruchstruktur sollte gut erkundet sein und möglichst gross sein; Explorationskosten nicht nur abhängig von Bohrtiefe, sondern auch von Vorerkundung (z.B. Seismik), Bohrpfad, Ausbau, Verfügbarkeit, Stimulationsmassnahmen, Stahlpreis, seismisches Monitoring usw. → deshalb grosse Bandbreite (im Fall Play “eiszeitliche Rinne” Kosten für Produktions- und Rückgabebrunnen, sonst nur für erste bzw. eine Sondierbohrung inkl. Seismik und Pumptest); Potenzial ganzer Kanton auf Basis gemittelter min. / max. Brunnenleistung und 3’000 Laststunden;

## Potentielle Plays und deren Potential im Kanton Zug

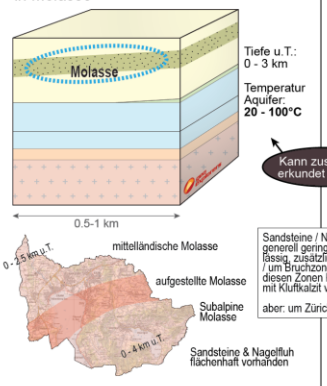
Autor: A. Ebert
Datum: 01.2026

### basale Kieslagen in übertieften eiszeitlichen Rinnen (Lockergestein)



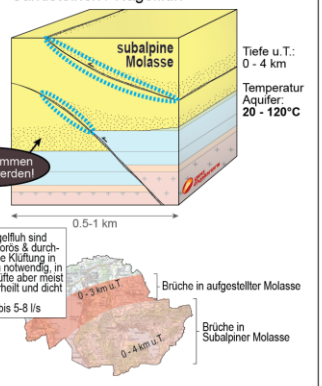

| | |
|---|---|
| Wärme mit Wärmepumpe, Aquiferspeicher | |
| Förderrate: | 20 - 80 l/s |
| Kälteleistung: | **0.5 - 3 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | mittel - hoch |
| Reproduzierbarkeit: | mittel - hoch |
| Potential ganzer Kanton: | ca. 4 - 8 Cluster<br>ca. 25 - 200 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | im Baarer Becken (1.2 $MW_{th}$), Kloten nachgewiesen: 3'000-5'000 l/min |
| Explorationskosten: (Seismik + Testbrunnen + Pumptest) | ca. 200-400 m tief<br>1 - 2 Mio. CHF (eine Dublette)<br>1.5 - 2 Jahre |

### durchlässige Sandsteine / Nagelfluh in Molasse




| | |
|---|---|
| Wärme mit Wärmepumpe / Direktwärme | |
| Förderrate: | 0.1 - 5 l/s |
| Kälteleistung: | **<0.1 - 1 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | mittel - gering |
| Reproduzierbarkeit: | mittel |
| Potential ganzer Kanton: | ? 2 - 8 Dubletten<br>? 0.1 - 20 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | Weggis-1 <1l/s, Hünenberg-1, Entlebuch-1, St. Gallen GT-1 trocken/kaum Wasser |
| Explorationskosten: (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 1 - 3 km tief<br>5 - 30 Mio. CHF<br>2 - 4 Jahre |

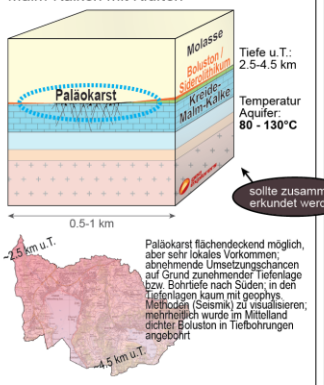
### Bruch- / Störzonen in Molasse-Sandsteinen / Nagelfluh




| | |
|---|---|
| Wärme mit Wärmepumpe / Direktwärme | |
| Förderrate: | 0.1 - 5 l/s |
| Kälteleistung: | **<0.1 - 1 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | mittel - gering |
| Reproduzierbarkeit: | gering - mittel |
| Potential ganzer Kanton: | ? 2 - 6 Dubletten<br>? 0.1 - 20 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | Weggis-1 <1l/s, Entlebuch-1, St. Gallen GT-1 auch in Bruch trocken/kaum Wasser |
| Explorationskosten: (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 1 - 4 km tief<br>5 - 40 Mio. CHF<br>2 - 5 Jahre |

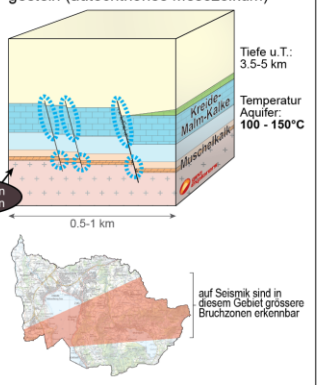
Wärme mit Wärmepumpe, Aquiferspeicher, evtl. Wärmedirektnutzung in Molasse

### durchlässiger Paläokarst in Malm-Kalken mit Klüften



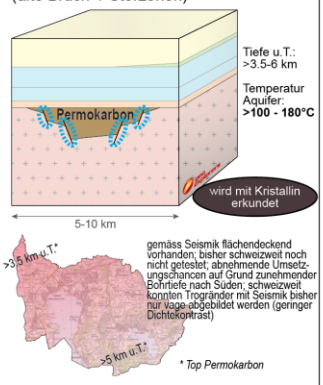

| | |
|---|---|
| Direktwärme im Süden auch Strom | |
| Förderrate: | 1-5 - 50 l/s (max 100) |
| Kälteleistung: | <2 - **10 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | gering/mittel - gering |
| Reproduzierbarkeit: | gering - mittel |
| Potential ganzer Kanton: | ? 2 - 4 Dubletten<br>? 1 - 100 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | Bohrungen Entlebuch-1 & Altishofen-1, mehrheitlich aber mit dichtem Paläokarst |
| Explorationskosten: (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 3 - 4 km tief<br>30 - 40 Mio. CHF<br>3 - 5 Jahre |

### Bruch- / Störzonen in Kalk- & Dolomitgestein (autochthones Mesozoikum)




| | |
|---|---|
| Strom und Direktwärme | |
| Förderrate: | 1-7 - 20 l/s (max 50) |
| Kälteleistung: | <2 - **6 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | mittel - gering/mittel |
| Reproduzierbarkeit: | gering - mittel |
| Potential ganzer Kanton: | ? 2 - 4 Dubletten<br>? 10 - 70 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | Bsp. Riehen, Vinzel, Yverdon, St. Gallen GT1 |
| Explorationskosten: (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 4 - 5 km tief<br>40 - 60 Mio. CHF<br>3 - 5 Jahre |

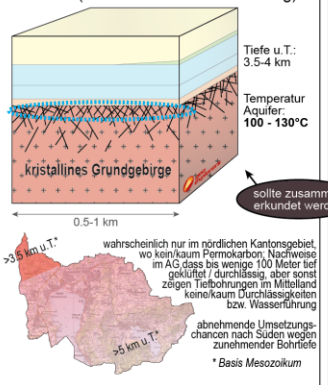
### Permokarbon-Trogränder (alte Bruch- / Störzonen)




| | |
|---|---|
| Strom und Direktwärme | |
| Förderrate: | ? 1 - 20 l/s |
| Kälteleistung: | **? <1 - 7 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | gering (unbekannt) |
| Reproduzierbarkeit: | gering |
| Potential ganzer Kanton: | ? 1 - 3 Dubletten<br>? 1 - 50 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | nur Indizien für Wasserfluss, z.B. unter Bad-Schinznach & Baden |
| Explorationskosten: (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 4 - 6 km tief<br>40 - 80 Mio. CHF<br>3 - 5 Jahre |

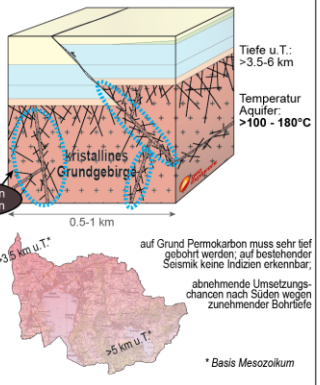
tief (3-6 km u.T.); hydrothermal, Direktwärme, Strom

### Top verwittertes / geklüftetes Kristallin (ausserhalb Permokarbontrog)




| | |
|---|---|
| Strom und Direktwärme | |
| Förderrate: | ? 1 - 10 l/s |
| Kälteleistung: | **0.2 - 2 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | gering |
| Reproduzierbarkeit: | gering |
| Potential ganzer Kanton: | ? 1 - 2 Dubletten<br>? 1 - 10 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | einzelne Nachweise im AG (z.B. Bad Zurzach), aber z.B. Triemli-1, Basel-1 + Pfaffnau-2 gering durchlässig |
| Explorationskosten: (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | >4 km tief<br>40 Mio. CHF<br>3 - 5 Jahre |

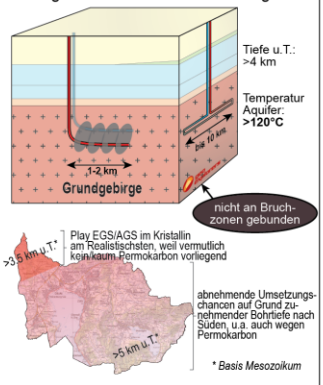
### Bruchzonen im kristallinen Grundgebirge




| | |
|---|---|
| Strom und Direktwärme | |
| Förderrate: | 1 - 20* l/s |
| Kälteleistung: | 0.3 - 7* $MW_{th}$ |
| Fündigkeitschancen: | mittel* - gering |
| Reproduzierbarkeit: | gering |
| Potential ganzer Kanton: | ? 1 - 2 Dubletten<br>? 1 - 40 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | z.B. Lavey-les-Bains, Engerfeld, Schafisheim |
| Explorationskosten: (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | >5 km tief<br>60 - 80 Mio. CHF<br>3 - 5 Jahre |

* nur i.F. grosser Bruchzonen

### petrothermale Geothermie (EGS, AGS) vorzugsweise im kristallinen Grundgeb.




| | |
|---|---|
| Strom und Direktwärme | |
| Förderrate: | angestrebt 50 l/s |
| Kälteleistung: | angestrebt **5 $MW_{el}$ + >50 $MW_{th}$** |
| Nachweise: | Basel-1 u.a. haben gezeigt, dass Untergrund künstlich durchlässig gemacht werden kann, aber viele Rückschläge / Schäden & geringe Wirtschaftlichkeit in Vergangenheit; derzeitige Schlüssel-Grossprojekte in Utah (USA) mit Erfolgen |
| Explorationskosten: | grob 100 Mio. CHF<br>je nach Erfolg des derzeitigen Projekts Haute Sorne kann erst ein weiteres Projekt starten |

tief (i.W. >4 km u.T.); Geothermie im kristallinen Grundgebirge, Direktwärme, Strom

# 10 Synergie im Rahmen einer geothermischen Nutzung

(Kurzfassung aus Studie NW-OW / SG)

Potenzielle begleitende oder alternative Nutzungen können folgende sein:

Poröse Zonen in ausreichender Tiefenlage, die auch für die Geothermie gesucht werden, können grundsätzlich zur **Speicherung** verschiedener Medien wie warmes oder kaltes Wasser, Erdgas, $CO_2$ oder Wasserstoff genutzt werden. Im Fall der Speicherung ist wichtig, dass das zu speichernde Medium «gefangen» bleibt und nicht weg migriert. Die gesuchten durchlässigen Bruchzonen mit ergiebigen Reservoiren stehen dazu meist im Widerspruch. Auch müssen das Lösungsverhalten, Aggregatzustands-Veränderungen oder sekundäre Risiken beispielsweise von induzierten Erdbeben beachtet werden. Gleichwohl, auch wenn die konkreten Zonen nicht identisch sein müssen, können viele wichtige Erkenntnisse für den einen oder anderen Fall gewonnen werden, die heute im Schweizer Untergrund generell noch unbekannt sind (Vgl. z.B. mit dem Forschungsprojekt zur $CO_2$-Speicherung in der Tiefbohrung Trüllikon oder Diamond et al., 2010).

Insbesondere entlang des Alpenvorlands und der Alpenfront sind Gasindikationen an der Erdoberfläche, in Tunneln sowie in Bohrungen zu beobachten. Diese deuten darauf hin, dass sich im Untergrund **Erdgas** befindet, welches genutzt werden kann (vgl. z.B. mit Bohrung Entlebuch-1 aus welcher 74 Mio. $m^3$ Erdgas produziert wurde, Lahusen & Wyss, 1995 oder Geothermiebohrung St. Gallen GT-1 mit geförderten 6'000 $Nm^3/h$ Gas während einer Testphase von ca. 50 Stunden, Wolfgramm, 2015). Eine kombinierte Erkundung nach Heisswasser und Erdgas würde die Wirtschaftlichkeit verbessern und die Fündigkeitsrisiken für beide minimieren. Allerdings sind die Anforderungen für Erdgasreservoire ähnlich wie bei der Speicherung höher als für die Geothermie.

In einzelnen heissen Tiefenwässern wurden hohe Lithiumwerte von über 150 mg/l nachgewiesen. Sofern es gelingt, Lithium aus Solen wirtschaftlich zu extrahieren, kann die Wirtschaftlichkeit geothermischer Projekte deutlich verbessert werden. Jedoch findet weltweit noch keine industrielle Förderung von Lithium aus einer Sole statt (Goldberg et al. 2022 a & b). Wenige Messdaten zu Lithiumgehalten in Tiefenwässern in der Schweiz deuten aber derzeit auf eher zu tiefe Gehalte hin (Heuberger & Morgenthaler, 2023). Allerdings sollten hier jeweils entsprechende Messdaten erhoben werden, um flächendeckend Aussagen machen zu können.

# 11 Förderbeiträge

(Zusammenfassung aus Studie SG)

Gemäss Stand von 2025, können nach dem Energiegesetz Prospektion, Erschliessung und Bau neuer Anlagen für Strom aus Geothermie mit bis zu 60 % der anrechenbaren Kosten vom Bund unterstützt werden; die Projektierung mit bis zu 40 %. Für Anlagen zur Stromproduktion kann alternativ auch eine Geothermie-Garantie als Risikoabsicherung beantragt werden. Die $CO_2$ Gesetzgebung ermöglicht für Wärmeprojekte ebenfalls Förderbeiträge von bis zu 60 %. Zusätzlich können innovative Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte mit 40 % der nicht amortisierbaren Mehrkosten unterstützt werden. Seit 2025 besteht zudem die Möglichkeit einer Risikoabsicherung für thermische Netze und Langzeitspeicher, die bis zu 50 % der Kosten und maximal fünf Millionen Franken abdeckt.

# 12 Risiken / Konflikte / Anforderungen

(Kurzfassung aus Studie NW-OW / SG)

Bei geothermischen Projekten bestehen verschiedene Risiken, die sowohl technischer, geologischer, seismischer, gesellschaftlicher als auch finanzieller Natur sein können:

- **Fündigkeitsrisiko:** Das Hauptrisiko besteht darin, keine ergiebige Heisswasserquelle zu finden. Kritisch sind vor allem die Schüttungsrate und die Durchlässigkeit des Gesteins. Ein etappenweises Vorgehen und gründliche Vorerkundung senken dieses Risiko.
- **Seismische Risiken:** In der Schweiz werden Geothermieprojekte mit Erdbebengefahr assoziiert. Besonders bei tiefen Projekten und Stimulationen können Mikrobeben bis hin zu spürbaren Erdbeben ausgelöst werden. Ein Monitoring und eine Risikoanalyse sind zwingend.
- **Bohrtechnische und geologische Risiken:** Mit zunehmender Tiefe steigen die technischen Herausforderungen (z. B. Arteser, Bohrlochinstabilitäten, Anbohren von Gastaschen, Steckenbleiben des Bohrmeissels). Erfahrung, gute Vorbereitung und genaue geologische Prognosen senken die Risiken.
- **Gesellschaftliche Risiken:** Kleinere Bohrungen sind generell akzeptiert, während grosse Bohranlagen auf Grund von Lärm, Verkehr und Erdbeben-Befürchtungen kritisch hinterfragt und unter Umständen nicht akzeptiert werden. Gute Kommunikation, offene Risikobeurteilungen, Einbindung der Bevölkerung und politische Unterstützung sind entscheidend für die Akzeptanz.
- **Finanzielle Risiken:** Die Kosten steigen mit der Tiefe exponentiell. Unerwartete Ereignisse können zu Mehrkosten führen, weshalb Reserven (30–50 % bei Erstbohrungen) eingeplant werden sollten. Ein schrittweises Vorgehen (erst flach, dann tiefer) minimiert das finanzielle Risiko.
- **Risiken während der Nutzung:** Probleme können u.a. durch Ausfällungen, thermische Kurzschlüsse, unzureichendes Austauschvolumen oder Verluste bei der Wärme-/Kältespeicherung entstehen. Analysen, Monitoring und angepasste Nutzungskonzepte helfen, diese Risiken zu vermeiden.

Entscheidend ist, dass Risiken identifiziert werden, ihre Wahrscheinlichkeit und ihr Schadensausmass bewertet und entsprechende Massnahmen ergriffen werden. Insgesamt ist eine sorgfältige Planung, Risikobewertung und Kommunikation sowie ein sukzessives, etappenweises Vorgehen zentral, um die Risiken bei Geothermieprojekten zu minimieren und die Akzeptanz in der Bevölkerung zu steigern.

# 13 Schlussfolgerungen zum geothermischen Potenzial

## 13.1 Wärmenutzung

Die zu erwartenden Schüttungsraten liegen bei den attraktivsten tiefen Plays zwischen 5 bis 30 l/s (im besten Fall vielleicht auch 50 l/s und mehr). Im Fall der basalen Schotter in den eiszeitlichen Rinnen darf auf Basis der bisherigen Projekte mit 20-80 l/s gerechnet werden (vorausgesetzt, dass basale Schotter nachgewiesen werden).

Da die in Abb. 12 bewerteten Plays in verschiedensten Tiefenlagen angetroffen werden, variieren die zu erwartenden Felstemperaturen zwischen rund 20 bis >150 °C (15 bis 25 °C in den basalen Schottern der Rinnen). Die erfolgversprechendsten Plays sind klar die eiszeitlichen Rinnen, welche zudem rasch und im Vergleich zu Tiefbohrungen «günstig» erkundet werden können. Diese lassen sich auch als Aquiferspeicher nutzen. Im Kanton Zug ist der untere Lockergeszeinsaquifer im Baarer Becken bereits gut erkundet und wird genutzt. Der Erkundungsstand der anderen 3 tiefen Lockergesteinsrinnen /-becken wurde im Rahmen dieser Studie nicht evaluiert. Die nächst-attraktivsten Plays stellen die Bruchzonen zusammen mit dem Paläokarst im Mesozoikum dar, gefolgt von geklüfteten Zonen im kristallinen Grundgebirge. Die anderen Plays in der Molasse und Permokarbon müssen auf Grund des Wissensstandes als wenig attraktiv bewertet werden. Bei allen tiefen Plays muss immer die Erdbebenproblematik, die gesellschaftliche Akzeptanz, die Aufwände für die Vorerkundung, der lange Atem, bis eine Bohrung steht und die Fündigkeitschancen beachtet werden.

Die tieferen Plays im autochthonen Mesozoikum, Permokarbon oder kristallinen Grundgebirge weisen deutlich höhere Temperaturen auf und sind für eine Direktwärmenutzung oder für die Stromgeneration geeignet. Die thermischen Entzugsleistungen liegen je nach Schüttungsrate und Temperatur realistisch bei rund 1 bis 10 $MW_{th}$ pro Brunnen (Abb. 12). Die Bandbreite wird im Wesentlichen durch die Schüttungsrate definiert, da diese die grösste Unsicherheit aufweist. Konservative Werte sollten eher bei 0.5 bis 5 $MW_{th}$ angesetzt werden. Die Fündigkeitschancen für die erwarteten Schüttungsraten müssen derzeit je nach Play, dessen Tiefe, Erkundungs- und Wissensstand mit gering bis mittel (alle tiefen Plays) sowie mittel bis hoch (untiefe Plays in eiszeitlichen Rinnen) eingeschätzt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Einordnung der Fündigkeitschance stark davon abhängt, welche Schüttungsrate erwartet wird und wie hoch der Daten- und Wissensstand ist (Abb. 11). Werden z. B. auf der Seismik Bruchzonen sehr gut kartiert und wird eine erste Bruchzone erfolgreich erbohrt, so können die Chancen für Folgeprojekte auch von derzeit gering auf mittel-hoch für die angetroffene Förderrate gesetzt werden.

Aufgrund der Vorkommen verschiedenster Bruch- und Störzonen und Rinnen sind pro Play mehrere Förderbrunnen bzw. Brunnendubletten möglich. Nur bezogen auf das attraktivste tiefe Play (Bruchzonen im Mesozoikum) könnten im Kanton rund 2 bis 4 Dubletten mit je einer thermischen Leistung von rund 2 bis 6 $MW_{th}$ erstellt werden. Dies würde mit je 3'000 Laststunden einem geschätzten jährlichen Energiebezug von gemittelt bis ca. 70 GWh entsprechen. Zudem kann mit einem Aquiferspeicherpotenzial in den eiszeitlichen Rinnen von mehreren Dutzend GWh gerechnet werden.

Die grossen Variationen bzw. Unsicherheiten pro Play in Abb. 12 beruhen darauf, dass mit dem derzeitigen Kenntnisstand insbesondere die totale Anzahl Brunnen, die Schüttungsrate sowie auch die Tiefenlage und somit Aquifertemperatur und folglich die daraus abgeleitete Leistung pro Brunnen nur abgeschätzt werden kann.

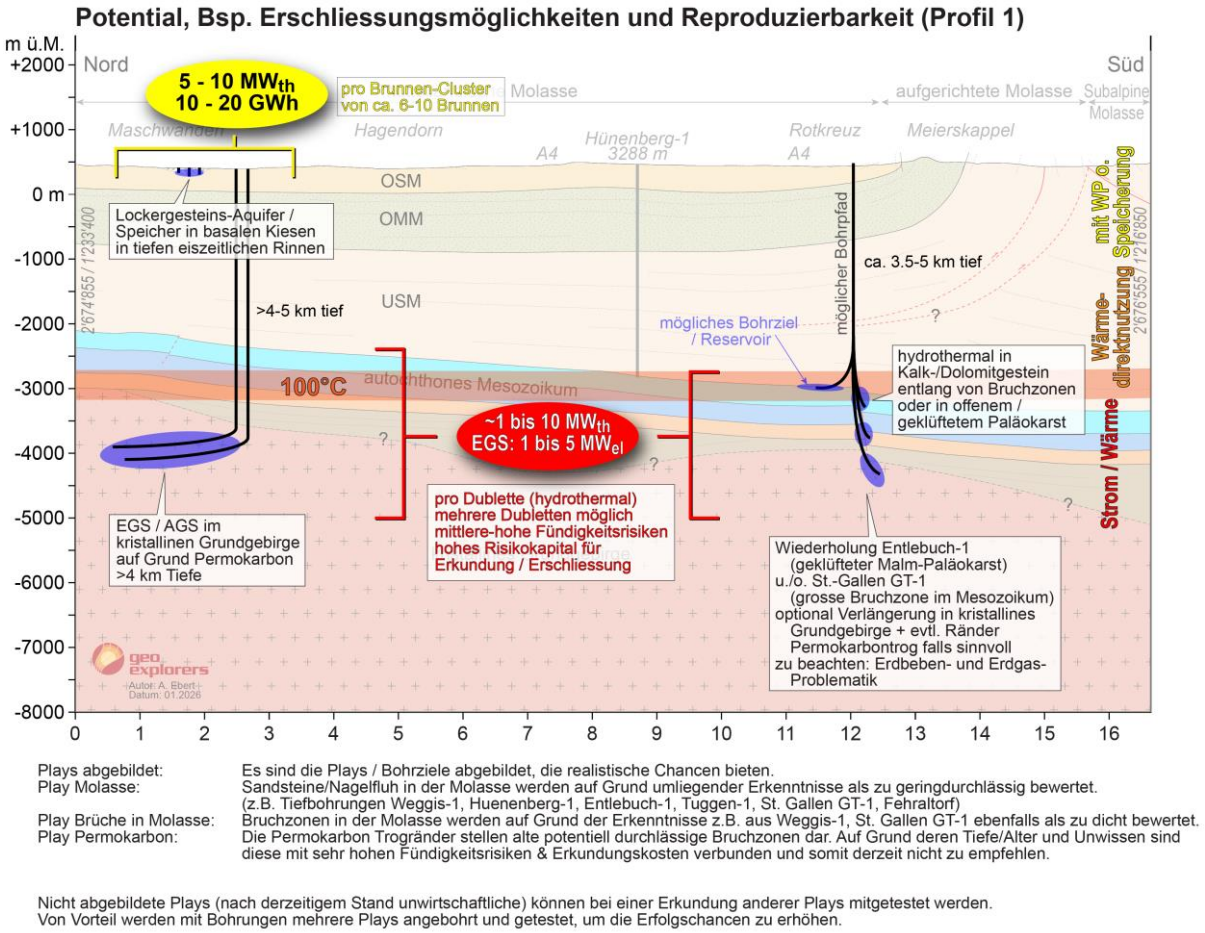



**Abb. 13 Exemplarische Erschliessungsmöglichkeiten und Potenzial entlang Profil 1**

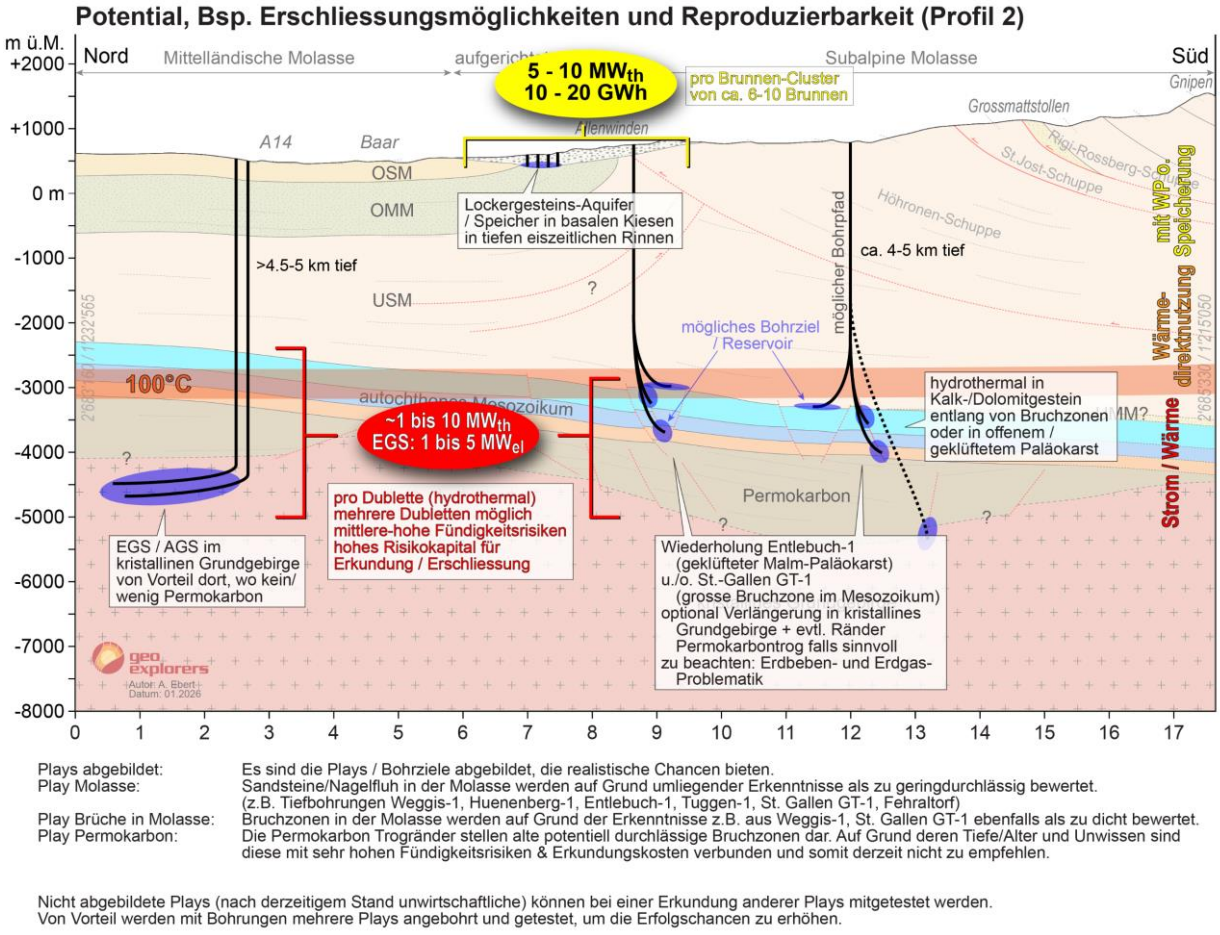
## 13.2 Stromproduktion

Für die Stromgewinnung kommen im Kanton Zug die gleichen tiefen Plays in Frage, entweder der Paläokarst und durchlässige Bruchzonen im autochthonen Mesozoikum, im kristallinen Grundgebirge, entlang der Permokarbon-Trogränder oder künstlich erzeugte Reservoire (EGS = Enhanced geothermal system, AGS = advanced geothermal system). Dass tiefe Bruchzonen im Mesozoikum vorkommen, kann auf Basis der Seismik berechtigt angenommen werden. Dass solche Bruchzonen auch durchlässig sein können, zeigen verschiedene Bohrungen in der Schweiz. Ob diese aber in grossen Tiefen von über 3-4 km Tiefe auch ausreichend ergiebig und nachhaltig wasserführend sind, ist nicht gesichert, insbesondere auch ob die Rückgabe funktioniert und thermische Kurzschlüsse ausbleiben. Die Bandbreite der Leistung wird im Fall der Stromerzeugung ebenfalls wie oben von der Schüttungsrate kontrolliert und liegt bei den hydrothermalen Plays im Bereich von 0.5 bis 2 $MW_{el}$ bei gleichzeitig hohen Fündigkeitsrisiken.

EGS und AGS haben beide noch einen Pilotcharakter, werden generell in Europa aufgrund der hohen Bohrkosten als noch nicht wirtschaftlich betrachtet. Die Akzeptanz ist bei EGS zudem aufgrund der Erdbebenrisiken derzeit noch gering. Weltweit wurden bisher nur EGS-Projekte mit Forschungs- und Pilotcharakter durchgeführt, welche meist abgebrochen werden mussten (Gründe: Schaden-Erdbeben, unzureichender Wasserfluss, Ausfällungen, fehlende Wirtschaftlichkeit usw.). Strom aus einem EGS-Forschungsprojekt wird derzeit erst in Soultz-sous-Forêts mit einer Leistung von rund 1.7 MW in ein öffentliches Netz eingespeist. Allerdings

werden derzeit in den USA grosse EGS-Projekte mit ersten deutlich günstigeren Bohrungen und erfolgsversprechenden künstlich erschaffenen Reservoiren umgesetzt (z. B. Fervo Energy). Der Langzeitbetrieb muss aber auch bei diesen die Tauglichkeit erst noch beweisen. Ob in naher Zukunft ein ähnlich günstiges Bohren in der Schweiz möglich sein wird, ist aufgrund der Rahmenbedingungen fraglich (höhere Anforderungen an Umwelt und Bohrplatz, wenige Bohrgeräte und Bohrfirmen usw.).

Bevor im Kanton Zug auf solche Projekte gesetzt werden kann, sollte der Erfolg vom EGS-Projekt Haute-Sorne im Kanton Jura abgewartet und auf dessen Erkenntnissen aufgebaut werden. Mit einem Erfolg in Haute-Sorne würde die Akzeptanz in diese Technologie steigen und eine Umsetzung beschleunigen. Derzeit werden für EGS-Projekte in der Schweiz möglichst kristalline Grundgebirgseinheiten ohne Bruch- und Störzonen bevorzugt. Im Untersuchungsgebiet erschweren aber tiefe Permokarbon-Tröge, die alpine Deformation mit Bruch- und Störzonen sowie die Erdbebengefährdung eine Vorhersage, wo und ob EGS-Reservoire erfolgreich und schadenfrei generiert werden könnten. Hinsichtlich der Temperaturanforderungen muss in Tiefe von über 4 km gebohrt werden, was hinsichtlich der Bohrkosten nicht dienlich ist.




| | |
|---|---|
| Plays abgebildet: | Es sind die Plays / Bohrziele abgebildet, die realistische Chancen bieten. |
| Play Molasse: | Sandsteine/Nagelfluh in der Molasse werden auf Grund umliegender Erkenntnisse als zu geringdurchlässig bewertet. (z.B. Tiefbohrungen Weggis-1, Huenenberg-1, Entlebuch-1, Tuggen-1, St. Gallen GT-1, Fehraltorf) |
| Play Brüche in Molasse: | Bruchzonen in der Molasse werden auf Grund der Erkenntnisse z.B. aus Weggis-1, St. Gallen GT-1 ebenfalls als zu dicht bewertet. |
| Play Permokarbon: | Die Permokarbon Trogränder stellen alte potentiell durchlässige Bruchzonen dar. Auf Grund deren Tiefe/Alter und Unwissen sind diese mit sehr hohen Fündigkeitsrisiken & Erkundungskosten verbunden und somit derzeit nicht zu empfehlen. |

Nicht abgebildete Plays (nach derzeitigem Stand unwirtschaftliche) können bei einer Erkundung anderer Plays mitgetestet werden.
Von Vorteil werden mit Bohrungen mehrere Plays angebohrt und getestet, um die Erfolgschancen zu erhöhen.

**Abb. 14 Exemplarische Erschliessungsmöglichkeiten und Potenzial entlang Profil 2**

## 13.3 Aquiferspeicher / Wärmenutzung eiszeitliche Rinnen

Die Erkundungen und Erschliessungen im Baarer Becken zeigen, dass die durchlässigen Kieslagen in den eiszeitlichen Übertiefungen auch im Kanton Zug vorhanden sind und genutzt werden können. Mit den kürzlich erfolgten Erkundungen am Flughafen Zürich, in Biel, in Zug und in Muri, sowie älteren bestehenden Brunnen in ähnlichen Rinnen (z. B. Seon bei Lenzburg oder Münsingen im Aaretal) kann davon ausgegangen werden, dass sich auch in den anderen tiefen eiszeitlichen Rinnen/Tälern im Kanton Zug durchlässige Schotterlagen befinden. Im unteren, recht heterogenen Aquifer des Baarerbeckens ("Grundwasservorkommen Baar/Zug/ Steinhausen") besteht grössenordnungsmässig 1/3 der Mächtigkeit aus gut durchlässigen Schottern. Die Hydrogeologie der übrigen Rinnenfüllungen ist teilweise recht gut bekannt: in der "Grundwasserrinne Maschwanden bis Knonau" beträgt die Aquifermächtigkeit einige Zehnermeter bis über 80 m. Bei der "Grundwasserrinne Richterswil – Zug weisen einzelne Bohrungen ebenfalls auf einen basalen Schotter hin. Die Mächtigkeit der nachgewiesenen basalen Schotter in der der Rinne von Unterägeri beträgt wenige Zehnermeter. Pro Brunnen kann mit Schüttungsraten von bis einigen 1'000 l/min ausgegangen werden. Die thermischen Leistungen pro Brunnen würden bei ca. 1 bis 3 $MW_{th}$ liegen (mit Temperaturspreizung von rund 4 bis 10 °C). Das Speicherpotenzial pro Brunnen ohne Verluste liegt bei 1 bis 5 GWh. Die Verluste hängen davon ab, wie das Grundwasser fliesst und sind ohne Wissen der Rahmenbedingungen schwer abzuschätzen, aber können basierend auf den wenigen publizierten Werten im Grössenbereich von 20 bis 40 % angenommen werden. In einer Studie im Auftrag des Amts für Umwelt wird das maximale Wärmenutzungspotenzial mit fast 100 MW angegeben, je nach Grösse der Anlage und des hydraulischen Gradienten sowie in Abhängigkeit von der Ausgeglichenheit der zugrunde gelegten Energielastprofile. Die bestehenden Brunnen nutzen jeweils nur einen Teil der gesamten Aquifermächtigkeit von bis zu 120 m. Die Leistung der bisher grössten Anlage beträgt 1.2 $MW_{th}$ bei einer Entnahmerate von 22 l/s. Der Fokus in dieser Studie lag auf der Tiefengeothermie. Entsprechend wird auf bestehende Berichte und Erkenntnisse zum Baarer Becken verwiesen.

Grundsätzlich können mehrere Brunnen erstellt werden. Welche Abstände zwischen den Brunnen notwendig sind, ist besonders von der Fliessgeschwindigkeit und dem Nutzungskonzept abhängig. Aufgrund der Form der «beckenartigen» Rinnen und der Tatsache, dass die bisher datierten Grundwässer sehr alt sind und in bestehenden Nutzungen die Neubildung des Grundwassers gering ist, kann davon ausgegangen werden, dass das Grundwasser in den basalen Schottern eine Art stehendes Gewässer darstellt, also dass das Grundwasser kaum fliesst bzw. einen geringen hydraulischen Gradient aufweist, zumindest deutlich weniger als in den bekannten oberflächennahen Grundwässern. Dies wäre ein grosser Vorteil für eine Energiespeicherung, da die Verluste gering wären und die Bewirtschaftung einfacher zu gestalten wäre. Die bisher analysierten Grundwässer waren gering mineralisiert und sauerstoffarm.

Bisher werden noch keine Aquiferspeicher in diesem Play-Typ aktiv genutzt, entsprechend gibt es auch keine Erfahrungswerte. Das Projekt am Flughafen Zürich ist am weitesten fortgeschritten und eine erste Dublette mit erfolgversprechenden Testergebnissen steht. Erste Nutzungstests sind auf Herbst 2026 geplant.

## 13.4 Wirtschaftlichkeit und Risiken

Je tiefer gebohrt wird, desto mehr nehmen die Bohrkosten, die technischen Risiken und Fündigkeitsrisiken zu. Während Bohrungen bis in 1 km Tiefe je nach Ausführung rund 1 bis 3 Mio. CHF kosten, zeigen vergangene Projekte in der Schweiz, dass die gesamten Bohrkosten umgerechnet auf den Bohrmeter bei tiefen Bohrungen über 2 km im Bereich von 7'000 bis 12'000 CHF/m liegen und in den letzten Jahren tendenziell zugenommen haben.

Derzeit reichen die Untergrunddaten nicht aus, um insbesondere tiefe Bohrziele und Untergrundparameter genau zu definieren. Dafür sind ergänzende seismische Erkundungen sowie tiefe Bohrungen notwendig. Insbesondere die Grenzen und die Geometrie der Permokarbon-Tröge sowie der Verlauf von tiefgreifenden Bruchzonen können derzeit nur sehr vage prognostiziert werden. Aufgrund des geringen Kenntnisstandes des tiefen Untergrunds und der fehlenden Nachweise müssen die Fündigkeitschancen insbesondere für die tiefen und bisher nicht angebohrten Plays häufig als gering eingestuft werden (siehe Abb. 12).

Die Kosten, die Risiken und das mögliche geothermische Potenzial definieren, welche Plays zu empfehlen sind. Ein **Tiefengeothermieprojekt z. B. in Bruchzonen oder Paläokarst des autochthonen Mesozoikums** benötigen eine vorgängige seismische Erkundung und eine Tiefbohrung von rund 3-5 km Tiefe. Für einen ersten Nachweis von ergiebigem Heisswasser ist ein **Risikokapital von rund 30 bis 60 Mio. CHF** für die Planung, seismische Erkundung und erste Bohrung inkl. Tests und Monitoring notwendig. Nicht berücksichtigt sind allfällige Förder- oder Risikobeiträge vom Bund. Die Gesamtkosten für eine Dublette und Erschliessung liegen rasch bei über 100 Mio. CHF. Im besten Fall ist mit einer Dublette eine thermische Leistung von rund 5 bis 10 $MW_{th}$ oder 0.5 bis 2 $MW_{el}$ bei gleichzeitig hohen Fündigkeitsrisiken möglich. Die Wärmekosten (Betriebskosten und Kapitalkosten für Erkundung, Dublette 2x5 km, Zentrale usw. mit Annuität 25 Jahre, Zins 2.5%, ohne Leitungsbau, 100 Mio. CHF ohne Förder- bzw. Risikobeiträge) liegen im Fall 5 $MW_{th}$ bei ca. **37 Rp/$kWh_{th}$** und im Fall 10 $MW_{th}$ bei ca. **18 Rp/$kWh_{th}$**. Es sollte vorweg evaluiert werden, welches Verhältnis von Risiken und Kosten zu Ertrag noch tragbar sind.

Ein **Aquiferspeicher in den basalen Schottern der eiszeitlichen Rinnen** zeigt ein deutlich attraktiveres Verhältnis von Kosten zu Risiken und Ertrag. Allerdings ist das Temperaturniveau viel tiefer, was den Einsatz von Wärmepumpen nötig macht. Wirtschaftlichkeitsberechnungen von ähnlichen Projekten zeigen, dass mit einem Brunnencluster Wärme oder Kälte von 10 bis 20 GWh mit Leistungen von 5 bis 10 $MW_{th}$ alternierend eingespeichert bzw. entzogen werden können. Dafür sind je nach Brunnenabständen, Temperaturspreizung und Schüttungsrate rund 6 bis 10 Brunnen notwendig, welche sich rund hälftig auf Förder- und Rückgabebrunnen aufteilen. Die Kosten pro kWh (inkl. Abschreibung, Unterhalt, Leitungsbau, Anpassung Energiezentrale, Monitoring) liegen je nach Anzahl Brunnen und Leitungsbau bei rund **14 bis 18 Rappen pro $kWh_{th}$**. Selbstverständlich sind auch nur einzelne Dubletten mit einem Förder- und einem Rückgabebrunnen mit Leistungen von rund 1 bis 3 $MW_{th}$ möglich. Für eine Dublette mit vorgängiger Erkundung muss je nach Tiefe mit Kosten von rund 1 bis 2 Mio. CHF gerechnet werden. Das **Risikokapital** bis zu einem ersten Nachweis, ob durchlässige und wasserführende Schotter vorliegen, liegt mit 1 bis 3 einfachen Sondierbohrungen und einer vorgängigen geophysikalischen Erkundung bei rund **150'000 bis 300'000 CHF**.

# 14 Empfehlungen

## 14.1 Empfehlungen zu den einzelnen Plays

Hinsichtlich Fündigkeitschancen, Kosten, Risikokapital, Erkenntnisgewinn und Reproduzierbarkeit empfehlen wir, mit der Erkundung und der Erschliessung der weniger tiefen Plays zu starten (Abb. 12: Plays in den Rinnen), wie dies u.a. auch schon im Baarer Becken erfolgt. Es könnten aber auch noch die anderen Rinnen erkundet und getestet werden. Hier kann mit vergleichsweise geringen Kosten ein hoher Mehrwert für Folgeprojekte sowie Akzeptanz geschaffen werden. Der Wissensstand im Fall der untiefen Plays ist meist höher, es gibt vergleichbare und erfolgreiche Nachweise in ähnlicher Geologie und diese untiefen Plays lassen sich einfach und rasch erkunden, testen und duplizieren. Können mehrere Projekte in den gleichen Plays und Tiefenlage umgesetzt werden, sinken auch die Erkundungs- und Bohrkosten, was die Wirtschaftlichkeit der Projekte erhöht, ähnlich wie in den Anfängen der Erdwärmesonden. Es sei angemerkt, dass mit der heutigen WP-Technologien auch Wärmeverbünde mit Temperauren von über 100 °C möglich sind, was die untiefen weniger risikoreichen Plays zusätzlich attraktiver macht. Eine solche Direktnutzung würde einer deutlich risikoreicheren 3 km tiefen Bohrung entsprechen.

Im Gegensatz dazu stehen die tiefen hydrothermalen Plays, welche für eine Direktnutzung oder Stromgewinnung geeignet wären (Abb. 12, z. B. Bruchzonen im autochthonen Mesozoikum oder kristallinen Grundgebirge). Solche Projekte haben derzeit in der Schweiz immer noch Pilotcharakter und die Erfolgschancen sind derzeit meist kaum prognostizierbar, so auch im Untersuchungsgebiet. Zudem bedingen die grossen Bohrtiefen ein hohes Risikokapital von über 30-50 Mio. CHF bei eher hohen Fündigkeitsrisiken und erwarteten thermischen Leistungen von wenigen $MW_{th}$. Die vergangenen Misserfolge in der Schweiz können auf die fehlende Erfahrung und den geringen Kenntnisstand des Untergrunds zurückgeführt werden und nicht unbedingt darauf, dass in grösseren Tiefen keine wasserführenden Zonen vorhanden sind. Um die Erfolgschancen zu erhöhen, sollte zu Beginn versucht werden, erfolgreiche Projekte wie in Riehen, Yverdon-les-Bains oder Bad Schinznach in ähnlichen geologischen Situationen zu duplizieren.

## 14.2 Standortbetrachtungen

Grundsätzlich eignen sich mehrere Standorte für weitere Abklärungen in Bezug auf die Geothermie. Die notwendigen durchlässigen Zonen/Brüche und Schichten können an verschiedene Standorten angetroffen werden. Wie ergiebig diese tatsächlich sind, kann nur mit Testbohrungen quantifiziert werden. Zudem wird es sicher detailliertere seismische Erkundungen benötigen. Je nach Standort und Play wird es Unterschiede im Verhältnis von Ertrag, Risiko zu nötigem Aufwand und der bestehenden Infrastruktur zwischen den verschiedenen Standorten geben, was gewisse Standorte für eine Erkundung attraktiver macht als andere. Von Vorteil sollte immer die Möglichkeit bestehen, mehrere Plays und evtl. auch alternative Nutzungen zu evaluieren und zu testen.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass potenzielle Plays im ganzen Kanton vorhanden sind und die Erschliessung und Nutzung tiefer geothermischer Ressourcen ein gewisses Potenzial für die nachhaltige Wärmeversorgung bietet. Die geologischen und hydrogeologischen Voraussetzungen variieren zwar zwischen den Standorten, jedoch kann durch gezielte Erkundung das Risiko für Investoren minimiert und die Erfolgschancen erhöht werden. Um eine effiziente und sichere Entwicklung zu gewährleisten, ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Kanton, Gemeinden, Forschung und Wirtschaft essenziell. So kann

die Geothermie einen wichtigen Beitrag zur Energiewende und zur Versorgungssicherheit leisten.

## 14.3 Allgemeine Empfehlungen

Grundsätzlich gilt, dass die oberflächennahe Geothermie heute etabliert und ausgereift ist. Je tiefer gebohrt wird, desto teurer wird es und nehmen die Fündigkeitsrisiken und bohrtechnischen Risiken zu. Eine einzige Tiefbohrung kann folglich mehrere Dutzend Millionen Franken kosten und bei nicht-Fündigkeit keine nutzbare Energie liefern. Wenn man hingegen von oben nach unten vorgeht, lernt man bei jedem Schritt dazu, gewinnt Erkenntnisse, schafft Vertrauen und kann Erfolge einfacher und rascher duplizieren. Es wird deshalb empfohlen, die grossen Tiefen erst nach Erfolgen und gewonnenen Erkenntnissen im untiefen Bereich anzugehen (top-down-approach). Wenn die untiefen Plays erfolgreich sind und Indizien bestehen, dass Grundwässer aus grösseren Tiefen entlang von Bruchzonen aufsteigen, so können in einem zweiten Schritt die gleichen oder ähnlichen Bruchzonen in grösseren Tiefen getestet werden. Da die tiefe Geothermie keine Technologie ab Stange ist, ist dieses top-down Vorgehen aus wirtschaftlicher Sicht deutlich robuster. Man kann heute noch nicht einfach ein Schema anwenden und davon ausgehen, dass es überall gleich funktioniert. Jeder Standort ist anders. Man beginnt immer mit einer Hypothese über den Untergrund und muss diese Schritt für Schritt überprüfen. In diesem Sinn ist die Geothermie wie eine Detektivarbeit vom Untergrund: Man sammelt und kombiniert Daten aus Geophysik, Geologie und Bohrungen und nähert sich der Lösung erst allmählich an. Entsprechend wichtig ist eine offene und ehrliche Kommunikation, was bekannt ist und wie man die Risiken minimieren kann.

Aufgrund des geringen Kenntnisstands und weniger Nachweise sollte zudem zu Beginn der Erkundung nicht nur auf ein Play bzw. eine Bruchzone gesetzt werden. Stattdessen empfehlen wir, den Untergrund ähnlich wie in der Erdölexploration systematisch zu erkunden und den Erfolg weniger projektbezogen zu suchen. Wenn eine erste Erkundungsbohrung zu geringe Durchlässigkeiten bzw. Schüttungsraten aufweist, sollte daraus nicht geschlossen werden, dass das Play allgemein ungenügend ist. Entsprechend sollte auf eine systematische Erkundung mit mehreren Sondierbohrungen in verschiedene Brüche und Zielhorizonte gesetzt werden, sodass ein Erkenntnisgewinn für Folgeprojekte möglich ist, die besten Plays und Standorte ausgeschieden werden können und somit eine bisher in der Schweiz fehlende Reproduzierbarkeit mit hohen Fündigkeitschancen möglich wird. Auch sollten mit den gleichen Zielen verschiedene bohrtechnische Vorgehensweisen und Stimulationsmassnahmen getestet und angepasst werden. Eine solche Multiplay-Exploration benötigt zwar ein grösseres Budget, da aber von oben nach unten exploriert wird, sind die Kosten im Vergleich zu den hohen Projektkosten und Risiken einer Tiefbohrung gesamthaft immer noch deutlich günstiger, der Erkenntnisgewinn ist grösser und die geothermische Entwicklung des Untergrunds nachhaltiger.

# 15 Literaturliste

Diamond, L.W. et al., 2010: Studie zur Abschätzung des Potenzials für CO2-Sequestrierung in der Schweiz. BFE-Schlussbericht, 23 Seiten mit Anhängen und begleitenden Berichten.

EGEC, European Geothermal Energy Council, Geothermal Market Report 2023: https://www.egec.org/wp-content/uploads/2024/07/EGEC_2022-Key-Findings_Market-Report.pdf

Greber, E., Grünenfelder, T., Keller, B., Wyss, R., 1994: Die Geothermie-Bohrung Weggis, Kanton Luzern. Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. – Ing., 61, 138, 17-43.

Goldberg, V., Nitschke, F. & Kluge, T., 2022a: Herausforderungen und Chancen für die Lithiumgewinnung aus geothermalen Systemen in Deutschland - Teil 1: Literaturvergleich bestehender Extraktionstechnologien. Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie 27, 239-259.

Goldberg, V., Nitschke, F. & Kluge, T., 2022b: Herausforderungen und Chancen für die Lithiumgewinnung aus geothermalen Systemen in Deutschland - Teil 2: Potenziale und Produktionsszenarien in Deutschland. Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie27, 261-275.

Hantke, R., 2006. Erläuterungen Nr. 116 zu Blatt 1151 Rigi – Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000.

Heuberger, S. & Morgenthaler, J., 2023: Lithium in geothermal brines – Status report on the current situation in Switzerland and in neighbouring countries. Technical report, Georesources Switzerland Group, ETH Zurich, 43 Seiten.

Lahusen, P.H. and Wyss, R., 1995: Erdöl- und Erdgasexploration in der Schweiz: Ein Rückblick. Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. –Ing., 62/141, 43-72.

Pfiffner, O.A., 2009: Geologie der Alpen. Haupt Verlag Bern, 359 Seiten.

Vollmayr, T., 1983: Temperaturmessungen in Erdölbohrungen der Schweiz. Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und Ingenieure, 49/116, 15-17.

Vollmayr, T., Wendt, A., 1987: Die Erdgasbohrung Entlebuch 1, ein Tiefenaufschluss am Alpennordrand, Bull- Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., Vol. 53, No 125, 67 - 79.

Wolfgramm, M., Bloch, T., Bartels, J., Heuberger, S., Kuhn, P., Naef, H., Voigt, H.-D., Seibt, P., Sonderegger, M., Steiger, T., Uhlig, S., 2015: Reservoir-Geological Characterization of a Fractured Limestone: Results Obtained from the Geothermal Well St. Gallen GT-1 (Switzerland). Proceedings World Geothermal Congress 2015, 12 S.

Sowie:

Die geologischen Grundlagendaten (z. B. Geologische Karten) publiziert unter map.geo.admin.ch.

die Geothermie-Studien:

Vorabklärung zur Tiefengeothermie Kanton Zug vom 03.04.2013 von Dr. Roland Wyss GmbH, 75 Seiten.

Geothermie Kanton Zug – Vertiefungsstudie – Beurteilung konkurrierende Nutzungen, Erschwernisse und No-Gos vom 21.02.2014 im Auftrag vom Amt für Umweltschutz, 37 Seiten.

Tiefengeothermie im Kanton Zug – Synthesebericht vom 27.05.2014 vom Amt für Umeltschutz, 19 Seiten.

Abschätzung des Wärmenutzungspotenzials des Tiefengrundwasservorkommens Baar/Zug/Steinhausen - Geotest AG, Bericht Nr. 1323082.1, 2.9.2024, 44 Seiten.

und die reprozessierte Seismik im Kanton Zug:

Processing-Bericht: Reprocessing 2D Land-Seismik Kanton Zug 2013 – Poststack-Zeit-Migration vom 27.09.2013 von DMT Petrologic GmbH, 11 Seiten mit seismischen Profilen im Anhang.

Reprozessing von sieben seismischen 2D-Linien im Kanton Zug und vereinfachte strukturelle Interpretation der Ergebnisse von Nov. 2013 von Graf, R. & Roth, Ph., 12 Seiten.

# 16 Glossar

| | |
|---|---|
| 3 °C-Regelung | Gemäss Gewässerschutzverordnung gilt: Die Temperatur des Grundwassers darf durch Wärmeeintrag oder -entzug gegenüber dem natürlichen Zustand in 100m Entfernung um höchstens 3 °C verändert werden; vorbehalten sind örtlich eng begrenzte Temperaturveränderungen. |
| AGS | AGS (Advanced Geothermal System) ist ein geschlossenes geothermisches System im tiefen Untergrund. Es werden kilometerlange horizontale Bohrlöcher gebohrt, sodass Closed-Loops entstehen, in welchen ein zirkulierendes Wärmeträgermedium die Wärme an die Oberfläche bringt – ähnlich wie bei einer Erdwärmesonde. Bisher ist AGS im Pilot-Stadium und aufgrund der hohen Bohrkosten noch nicht wirtschaftlich. |
| Aar-Massiv | Das Aar-Massiv ist ein alter kristalliner Grundgebirgskörper, welcher während der Alpenbildung in die Gebirgsbildung einbezogen wurde und entsprechend deformiert wurde. Typische Gesteine sind rund 300 Mio. Jahre alte Granite, welche in ältere Gneise intrudiert sind. |
| Aquifer | Grundwasserleiter oder grundwasserführende Gesteinsschicht mit einer gewissen Porosität und Durchlässigkeit. Die Porosität ermöglicht, dass das Gestein Wasser speichern und weiterleiten kann und somit eine geothermische Nutzung ermöglichen kann. |
| Arteser | Wasseraustritt aus einer Bohrung, bei der der Druckspiegel des erbohrten Grundwassers über Terrain liegt und somit ein freier Wasserausfluss aus der Bohrung erfolgt. |
| ATES | ATES (Aquifer Thermal Energy Storage) bezeichnet einen Aquiferspeicher, welcher zur saisonalen Speicherung von Wärme und Kälte genutzt wird. |
| Autochthon | Eine autochthone geologische Einheit ist eine Gesteinseinheit, welche sich nicht durch tektonische Prozesse (z. B. Gebirgsbildung) abgelöst hat, also an Ort und Stelle gebildet wurde und ortsfest geblieben ist. Dies steht im Gegensatz zu allochthonen Einheiten (z. B. Decken), welche abgelöst und bewegt wurden. |
| Bruch/Störzone | Fläche, an der sich zwei Gesteinsblöcke gegeneinander verschoben haben (Verwerfung); je nach Lage der Fläche wird in Abschiebung, Aufschiebung, Überschiebung oder Seitenverschiebung unterschieden. Besteht der Bruch aus einer Zone von gestörtem Gestein mit mehreren Bruchflächen und geklüftetem Gestein, meist, wenn grössere Verschiebungsversätze vorliegen, so spricht man von einer Bruch- bzw. Störzone. |
| Brunnen | Ein Brunnen ist ein für die Wassergewinnung ausgebautes Loch bzw. eine Bohrung im Untergrund. Der Brunnen ermöglicht es, Wasser zu fördern oder in den Aquifer zurückzugeben. |
| CCS | Carbon Capture and Storage ($CO_2$-Abscheidung und -Speicherung). Technologie, mit welcher $CO_2$ eingefangen und in tiefen geologischen Formationen dauerhaft gespeichert wird. |
| Dublette | Wird das Grundwasser mit zwei Bohrungen erschlossen, so spricht man von einer Dublette. Das warme oder heisse Wasser wird über die Produktions- / Förderbohrung gefördert und über die Rückgabe- / Injektionsbohrung nach der Nutzung in den Aquifer zurückgegeben. Dubletten haben gegenüber Singletten den Vorteil, dass die Grundwasserbilanz erhalten bleibt. |
| Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ | Er ist das Mass für die Durchlässigkeit bzw. Permeabilität (hydraulische Leitfähigkeit). Die Masseinheit ist m/s und gibt somit an, wie schnell ein bestimmtes Gesteinspaket bei einem vorliegenden Druckgefälle durchflossen wird. |
| EGS | Enhanced geothermal systems (auch als Deep Heat Mining oder Hot Dry Rock bezeichnet) sind künstlich erstellte Wärmetauscher in grosser Tiefe von rund 4 - 5 km. Dafür wird das tiefe und heisse kristalline Grundgebirge, welches generell gering durchlässig ist, mit Wasser, das in das Bohrloch gepumpt wird, aufgebrochen. Mit EGS wird in der Regel primär Strom produziert. |
| Erdwärmesonde | Eine Erdwärmesonde ist ein U-Rohr in einem Bohrloch, in welcher eine Wärmeträgerflüssigkeit zirkuliert. Durch die Zirkulation des Fluids in der Sonde wird dem Untergrund Wärme entzogen oder zugeführt. Es sind auch koaxiale Sonden möglich. |
| Exploration | Exploration bedeutet die Erkundung von Lagerstätten und Rohstoffvorkommen im Untergrund. Die Erkundung wird mit Hilfe von geologischen, geophysikalischen und geochemischen Methoden durchgeführt. Im Fall der Geothermie zielt die geophysikalische Erkundung besonders auf den Schichtaufbau und die Lokalisierung von Bruchstrukturen ab. |
| Flysch | Flysch bezeichnet gutgebankte Gesteinsabfolgen welche tonig, mergelig, sandig oder grobklastisch sind und in einem marinen Vorlandbecken abgelagert wurden. Durch die voranrückende Gebirgsfront wird viel Material an sich übersteilenden Meereshängen eines sich vertiefenden Beckens abgelagert. Die Ablagerungen werden instabil und durch Trübeströme (Turbiditströme) in das Becken verfrachtet und abgelagert. Meist werden diese Ablagerungen später in die Gebirgsbildung einbezogen und deformiert. |
| Geothermie | Nutzung und Erschliessung der gespeicherten Wärmeenergie im Untergrund |
| Geothermischer Gradient | Temperaturzunahme im Untergrund mit der Tiefe, angegeben in Grad pro Meter. Typischerweise liegt der bei rund 3 °C pro 100 m. |
| Grundwasser | Grundwasser ist Wasser im Untergrund (Fels oder Lockergestein), welches sich in Poren, Hohlräumen, Klüften usw. ansammelt und fliesst. Grundwasser ist eine wichtige Ressource für die Trinkwassergewinnung sowie für die Wärme-Kälte-Nutzung. |

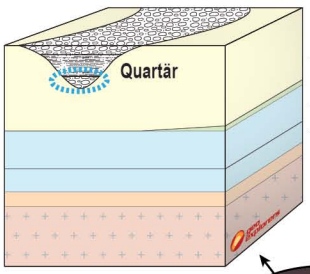
| | |
|---|---|
| Grundgebirge | Alte Gesteinskörper, welche aus kristallinen (magmatischen bzw. metamorphen) Gesteinen bestehen und von jüngeren Sedimentgesteinen (z. B. Mesozoikum) überlagert werden. |
| Helvetikum | Das Helvetikum besteht aus ehemaligen Sedimenten des ehemaligen nördlichen europäischen Schelfbereiches / Kontinentalrands, der vor der Alpenbildung bestand. Durch die Alpenbildung wurde das Helvetikum intern strukturiert und es entstanden verschiedene Decken. Die Helvetischen Decken im Untersuchungsgebiet (Axen- und Drusberg-Decke) stehen für mesozoische Schichten, die von südlich dem Aar-Massiv entlang einer basalen Überschiebungsbahn mehrere Zehner von Kilometern nach Norden transportiert wurden. |
| Hydrothermal | Wird tiefes heisses und natürlich vorkommendes Felsgrundwasser geothermisch genutzt, so spricht man von hydrothermaler Geothermie. Es handelt sich um ein offenes System, bei dem das Heisswasser z. B. aus einem Kluft- oder Porenaquifer über eine Bohrung gefördert und das abgekühlte Wasser wieder in den Aquifer zurückgegeben wird. |
| Jura | Geologischer Zeitraum vor ca. 201 – 145 Mio. Jahre. |
| Kluft-, Karstaquifer | Im dichten Festgestein gibt es Kluft- und Karstgrundwasserleiter. Klüfte sind µm bis cm offene Spalten im Gestein, welche durch Bruchvorgänge im spröden Gestein entstehen. Karst entsteht durch Verwitterungs- bzw. Lösungsprozesse in Karbonatgesteinen und bildet mm bis Meter-grosse Hohlräume. Siehe auch Aquifer. |
| Koaxialsonde | Es handelt sich um einen speziellen Erdwärmesondentyp. In der Koaxialsonde fliesst das Wärmeträgerfluid im Ringraum des Aussenrohrs nach unten und das erwärmte Wasser im häufig thermisch getrennten Innenrohr wieder nach oben. |
| Konglomerat | Ein grobkörniges klastisches Sedimentgestein das aus gerundeten Komponenten mit typischen Durchmessern von einigen mm bis mehreren cm besteht. Häufig werden diese als Nagelfluh bezeichnet. |
| Kreide | Geologischer Zeitraum vor ca. 145 – 66 Mio. Jahre. |
| Malm | Geologischer Zeitraum vor ca. 161 – 145 Mio. Jahre. Die abgelagerten Schichten im Malm bestehen überwiegend aus Kalksteinen bzw. Meeresablagerungen, welche auf dem nördlichen Schelfbereich des Tethys-Meeres abgelagert wurden. |
| Mélange | Eine Mélange ist ein Gestein, welches keine erkennbare Schichtung mehr aufweist, ein chaotisches Gemenge von verschiedensten Gesteinsfragmenten in allen Grössen darstellt und durch Deformationsprozesse entstanden und geprägt ist. Häufig findet man eine Mélange an der Basis einer Decke bzw. entlang einer Überschiebungsbahn. |
| Mesozoikum | Bezeichnet eine zeitliche Ära in der geologischen Zeit (252 – 66 Mio. Jahre). Wird aber häufig auch als Begriff für die während des Mesozoikums abgelagerten Schichtreihen verwendet. |
| Molasse | Beckenablagerungen im Vor- und Rückland der entstehenden Alpen, welches mit dem Abtragungsschutt des Gebirges gefüllt wurde; bestehend aus Konglomeraten (Nagelfluh), Sandsteinen, Mergel, Tonstein. Je nach Ablagerung unter oder über dem Meeresspiegel unterscheidet man in Meeres- oder Süsswassermolasse. Die Molassesedimente weisen ein Alter von ca. 35 – 10 Mio. Jahren auf. |
| Muschelkalk | Geologischer Zeitraum vor ca. 247 – 237 Mio. Jahre. Die für die Geothermie relevanten abgelagerten Schichten im Oberen Muschelkalk (Schinznach Formation) bestehen überwiegend aus Dolomitgestein und Kalksteinen. |
| Optimiertes System | Systeme, in welchem die natürlich vorhandene Durchlässigkeit eines hydrothermalen Systems mittels technischer Massnahmen wie z.B. einer Säuerung verbessert wird. |
| Paläokarst | Paläokarst sind alte Karstrelikte, welche in der erdgeschichtlichen Vergangenheit entstanden sind. Oftmals handelt es sich dabei um ehemalige verkarstete Landoberflächen. In der Schweiz findet man diese häufig am Top der Malm-Kalke in Form von Spalten und Klüften, welche mit einem Residium (z. B. rote eisenschüssige Bolustone, Siderolithikum oder Quarzsand) gefüllt sind. Der Paläokarst kann eine erhöhte Durchlässigkeit aufweisen. |
| Permeabilität/Durchlässigkeit | Die Permeabilität ist das Mass für das Fliessvermögen von Flüssigkeiten im Gestein. Notwendig sind verbundene Hohlräume (Poren, Klüfte). Das Mass für die Durchlässigkeit ist der Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$. |
| Permokarbon Tröge | Im frühen Karbon und Perm (360 – 252 Mio. Jahren) entstandene Gräben, die mit Sedimenten (Silt- und Sandsteinen, Kohleablagerungen) und Vulkanoklastika gefüllt wurden. Im alpinen Raum wurden diese Gräben während der Gebirgsbildung deformiert. |
| Play | Das Fachwort Play kommt aus dem Englischen und beschreibt eine Gruppe von geothermischen Ressourcen bzw. eine geologische Situation im Untergrund in einer Region, die sich durch ähnliche lithologische, tektonische und hydrogeologische Voraussetzungen auszeichnet. Für ein gutes Play bzw. die Wahrscheinlichkeit ein nutzbares Heisswasser-Vorkommen im Untergrund anzutreffen, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. Dies sind z. B. das Vorhandensein von permeablen und porösen Gesteinen, welche in Tiefen mit genügend hohen Temperaturen ein ausreichend grosses Heisswasser-Reservoir bilden. |
| Porenaquifer | Porengrundwasserleiter bestehen aus porösen und permeablen Locker- oder Festgestein, deren Porenraum von Grundwasser durchflossen wird. |
| Porosität | Die Porosität bezeichnet das Verhältnis des Volumens aller Hohlräume im Gestein zu dessen Gesamtvolumen. |

| | |
|---|---|
| Reflexionsseismik | Die Reflexionsseismik ist ein Verfahren, das zur Bestimmung von geologischen Schichtgrenzen im Untergrund eingesetzt wird. Das Verfahren beruht auf der Reflexion von Schallwellen an geologischen Schichtgrenzen und liefert eine indirekte Abbildung des Untergrundes. Man unterscheidet zwischen 2D-Seismik und 3D-Seismik. Aus der 2D-Seimsik erhält man eine Profillinie des Untergrundes, während die aufwändigere 3D-Seismik den Untergrund räumlich abbildet. |
| Reservoir | Poröses/permeables Gestein. Typische Speichergesteine sind Sandsteine und geklüftete oder verkarstete Kalksteine. |
| Seismik | Künstlich, an der Oberfläche erzeugte „Schallwellen“ werden im Untergrund an Schichtgrenzen reflektiert und die zurückkommenden Wellen werden an der Oberfläche von Geophonen gemessen. |
| Sidetrack | Seitenarm, der aus einem bestehenden Bohrloch herausgebohrt wird, um ein anderes Bohrziel anbohren zu können oder falls eine Blockade ein Weiterbohren verunmöglicht. |
| Singlette | Wird Thermalwasser aus einer Bohrung / Brunnen gefördert, ohne dass das Wasser zurück in den Aquifer gegeben wird, so spricht man von einer Singlette. Deshalb ist die Grundwasserabsenkung im Pumpbetrieb in Singletten im Vergleich zu Dubletten generell grösser, was entsprechend zu geringeren Leistungen führt. Durch die Nutzung senkt sich mit der Zeit in der Regel der Druck im erschlossenen Reservoir zusehends, sodass die Förderhöhe ansteigt und anderweitige Nutzungen in der Umgebung beeinträchtigt werden können. Da das Tiefenwasser in ein Oberflächengewässer geleitet werden muss, müssen die Einleitbedingungen (Temperatur, Hydrochemie) eingehalten werden. |
| Subalpine Molasse | Es handelt sich um Molasse-Sedimente (siehe Molasse), welche in die Gebirgsbildung einbezogen wurden und somit steil gestellt wurden, verfaltet und von Störzonen durchsetzt sind. |
| TEWS | Tiefe Erdwärmesonde, welche in der Regel bis in über 400 m Tiefe reicht. |
| Thermische Leistung | Die Wärmeleistung bzw. das Wärmepotenzial in Watt, das aus einem Aquifer bzw. tiefen Felsgrundwasser entnommen wird, ist das Produkt aus Förderrate in l/s, der Dichte des Fluids in kg/m$^3$ (vereinfacht 1 kg/l), der Wärmekapazität des Fluids in J/kg*K (vereinfacht 4200 J/kg*K) und der Temperaturspreizung in K ($\Delta$T zwischen Produktions- und Rückgabebohrung). Anzustrebende Förderraten in der hydrothermalen Geothermie liegen bei 50-150 l/s. |
| Trias | Geologischer Zeitraum vor ca. 252 – 201 Mio. Jahre. |
| Überschiebung | Wenn Gesteinseinheiten durch tektonische Prozesse (z. B. während einer Gebirgsbildung) zerbrechen und entlang einer Bruch- bzw. Störzone übereinander geschoben werden, so spricht man von einer Überschiebung. Generell liegen dann älter Schichten über jüngeren. |

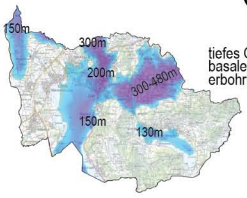
# Potentielle Plays und deren Potential im Kanton Zug

geo explorers Autor: A. Ebert Datum: 01.2026

## basale Kieslagen in übertieften eiszeitlichen Rinnen (Lockergestein)




einfach zu erkunden rascher Nachweis möglich



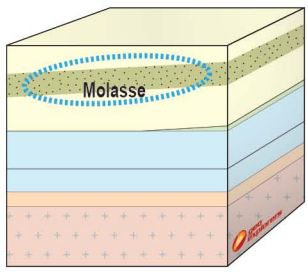

tiefes Quartär sicher vorhanden, basale Kiese teilweise erbohrt bzw. nachgewiesen

Brunnencluster bis 2-15 $MW_{th}$ möglich

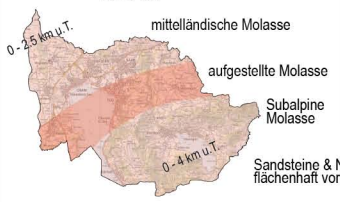
Wärme mit Wärmepumpe, Aquiferspeicher

| | |
|---|---|
| Förderrate: | 20 - 80 l/s |
| Kälteleistung: | **0.5 - 3 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | mittel - hoch |
| Reproduzierbarkeit: | mittel - hoch |
| Potential ganzer Kanton: | ca. 4 - 8 Cluster<br>ca. 25 - 200 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | im Baarer Becken (1.2 $MW_{th}$), Kloten nachgewiesen: 3'000-5'000 l/min |
| Explorationskosten: | ca. 200-400 m tief |
| (Seismik + Testbrunnen + Pumptest) | 1 - 2 Mio. CHF (eine Dublette)<br>1.5 - 2 Jahre |

## durchlässige Sandsteine / Nagelfluh in Molasse




Kann zusammen erkundet werden!



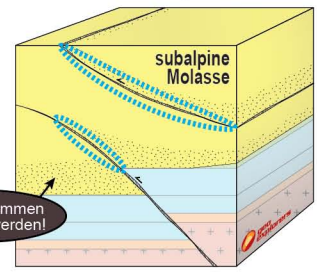

Sandsteine / Nagelfluh sind generell gering porös & durchlässig, zusätzliche Klüftung in / um Bruchzonen notwendig, in diesen Zonen Klüfte aber meist mit Kluftkalzit verheilt und dicht

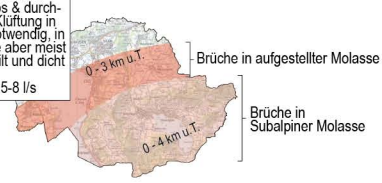
aber: um Zürich bis 5-8 l/s

Wärme mit Wärmepumpe / Direktwärme

| | |
|---|---|
| Förderrate: | 0.1 - 5 l/s |
| Kälteleistung: | **<0.1 - 1 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | mittel - gering |
| Reproduzierbarkeit: | mittel |
| Potential ganzer Kanton: | ? 2 - 8 Dubletten<br>? 0.1 - 20 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | Weggis-1 <1l/s, Hünenberg-1, Entlebuch-1, St. Gallen GT-1 trocken/kaum Wasser |
| Explorationskosten: | 1 - 3 km tief |
| (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 5 - 30 Mio. CHF<br>2 - 4 Jahre |

## Bruch- / Störzonen in Molasse-Sandsteinen / Nagelfluh



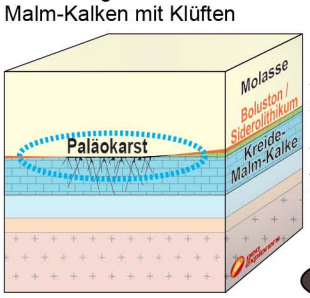




Wärme mit Wärmepumpe / Direktwärme

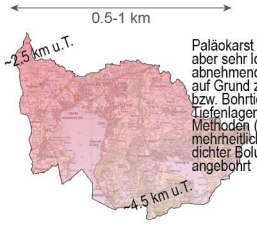
| | |
|---|---|
| Förderrate: | 0.1 - 5 l/s |
| Kälteleistung: | **<0.1 - 1 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | mittel - gering |
| Reproduzierbarkeit: | gering - mittel |
| Potential ganzer Kanton: | ? 2 - 6 Dubletten<br>? 0.1 - 20 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | Weggis-1 <1l/s, Entlebuch-1, St. Gallen GT-1 auch in Bruch trocken/kaum Wasser |
| Explorationskosten: | 1 - 4 km tief |
| (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 5 - 40 Mio. CHF<br>2 - 5 Jahre |

Wärme mit Wärmepumpe, Aquiferspeicher, evtl. Wärmedirektnutzung in Molasse

## durchlässiger Paläokarst in Malm-Kalken mit Klüften




sollte zusammen erkundet werden

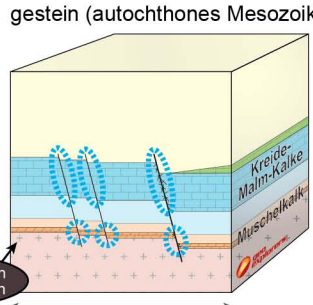


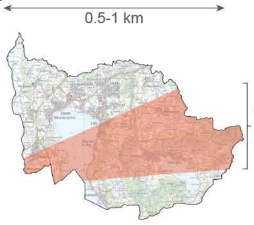

Paläokarst flächendeckend möglich, aber sehr lokales Vorkommen; abnehmende Umsetzungschancen auf Grund zunehmender Tiefenlage bzw. Bohrtiefe nach Süden; in den Tiefenlagen kaum mit geophys. Methoden (Seismik) zu visualisieren; mehrheitlich wurde im Mittelland dichter Boluston in Tiefbohrungen angebohrt

Direktwärme im Süden auch Strom

| | |
|---|---|
| Förderrate: | 1-5 - 50 l/s (max 100) |
| Kälteleistung: | <2 - **10 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | gering/mittel - gering |
| Reproduzierbarkeit: | gering - mittel |
| Potential ganzer Kanton: | ? 2 - 4 Dubletten<br>? 1 - 100 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | Bohrungen Entlebuch-1 & Altishofen-1, mehrheitlich aber mit dichtem Paläokarst |
| Explorationskosten: | 3 - 4 km tief |
| (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 30 - 40 Mio. CHF<br>3 - 5 Jahre |

## Bruch- / Störzonen in Kalk- & Dolomitgestein (autochthones Mesozoikum)



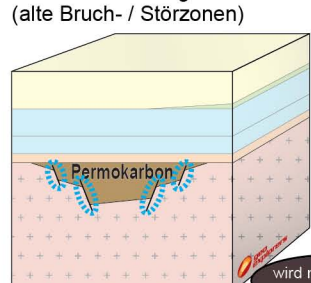



auf Seismik sind in diesem Gebiet grössere Bruchzonen erkennbar

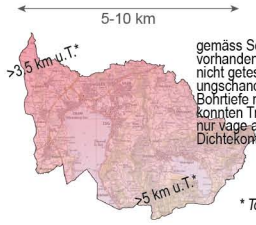
Strom und Direktwärme

| | |
|---|---|
| Förderrate: | 1-7 - 20 l/s (max 50) |
| Kälteleistung: | <2 - **6 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | mittel - gering/mittel |
| Reproduzierbarkeit: | gering - mittel |
| Potential ganzer Kanton: | ? 2 - 4 Dubletten<br>? 10 - 70 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | Bsp. Riehen, Vinzel, Yverdon, St. Gallen GT1 |
| Explorationskosten: | 4 - 5 km tief |
| (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 40 - 60 Mio. CHF<br>3 - 5 Jahre |

## Permokarbon-Trogränder (alte Bruch- / Störzonen)




wird mit Kristallin erkundet




gemäss Seismik flächendeckend vorhanden; bisher schweizweit noch nicht getestet; abnehmende Umsetzungschancen auf Grund zunehmender Bohrtiefe nach Süden; schweizweit konnten Trogränder mit Seismik bisher nur vage abgebildet werden (geringer Dichtekontrast)

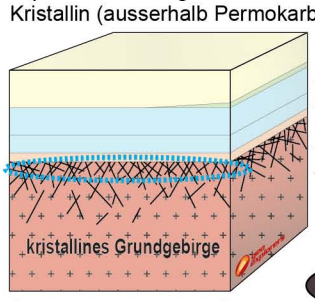
* *Top Permokarbon*

Strom und Direktwärme

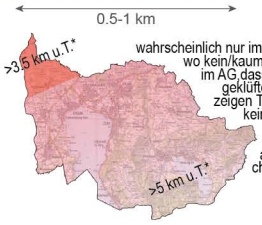
| | |
|---|---|
| Förderrate: | ? 1 - 20 l/s |
| Kälteleistung: | **? <1 - 7 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | gering (unbekannt) |
| Reproduzierbarkeit: | gering |
| Potential ganzer Kanton: | ? 1 - 3 Dubletten<br>? 1 - 50 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | nur Indizien für Wasserfluss, z.B. unter Bad-Schinznach & Baden |
| Explorationskosten: | 4 - 6 km tief |
| (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 40 - 80 Mio. CHF<br>3 - 5 Jahre |

tief (3-6 km u.T.); hydrothermal, Direktwärme, Strom

## Top verwittertes / geklüftetes Kristallin (ausserhalb Permokarbontrog)




sollte zusammen erkundet werden




wahrscheinlich nur im nördlichen Kantonsgebiet, wo kein/kaum Permokarbon; Nachweise im AG dass bis wenige 100 Meter tief geklüftet / durchlässig, aber sonst zeigen Tiefbohrungen im Mittelland keine/kaum Durchlässigkeiten bzw. Wasserführung

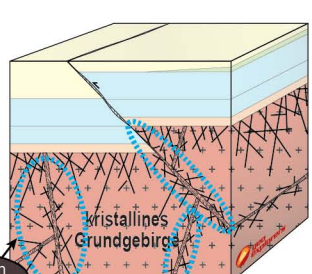
abnehmende Umsetzungschancen nach Süden wegen zunehmender Bohrtiefe

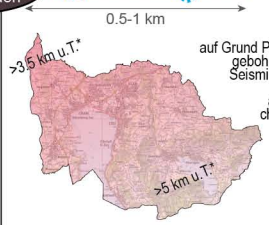
* *Basis Mesozoikum*

Strom und Direktwärme

| | |
|---|---|
| Förderrate: | ? 1 - 10 l/s |
| Kälteleistung: | **0.2 - 2 $MW_{th}$** |
| Fündigkeitschancen: | gering |
| Reproduzierbarkeit: | gering |
| Potential ganzer Kanton: | ? 1 - 2 Dubletten<br>? 1 - 10 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | einzelne Nachweise im AG (z.B. Bad Zurzach), aber z.B. Triemli-1, Basel-1 + Pfaffnau-2 gering durchlässig |
| Explorationskosten: | >4 km tief |
| (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 40 Mio. CHF<br>3 - 5 Jahre |

## Bruchzonen im kristallinen Grundgebirge




auf Grund Permokarbon muss sehr tief gebohrt werden; auf bestehender Seismik keine Indizien erkennbar;

abnehmende Umsetzungschancen nach Süden wegen zunehmender Bohrtiefe

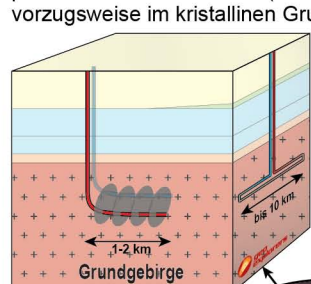
* *Basis Mesozoikum*

Strom und Direktwärme

| | |
|---|---|
| Förderrate: | 1 - 20# l/s |
| Kälteleistung: | 0.3 - 7# $MW_{th}$ |
| Fündigkeitschancen: | mittel# - gering |
| Reproduzierbarkeit: | gering |
| Potential ganzer Kanton: | ? 1 - 2 Dubletten<br>? 1 - 40 Mio. kWh/a |
| Nachweise: | z.B. Lavey-les-Bains, Engerfeld, Schafisheim |
| Explorationskosten: | >5 km tief |
| (Seismik + Sondierbohrung + Pumptest) | 60 - 80 Mio. CHF<br>3 - 5 Jahre |

# nur i.F. grosser Bruchzonen

## petrothermale Geothermie (EGS, AGS) vorzugsweise im kristallinen Grundgeb.




nicht an Bruchzonen gebunden




Play EGS/AGS im Kristallin am Realistischsten, weil vermutlich kein/kaum Permokarbon vorliegend

abnehmende Umsetzungschancen auf Grund zunehmender Bohrtiefe nach Süden, u.a. auch wegen Permokarbon

* *Basis Mesozoikum*

Strom und Direktwärme

| | |
|---|---|
| Förderrate: | angestrebt 50 l/s |
| Kälteleistung: | angestrebt **5 $MW_{el}$ + >50 $MW_{th}$** |
| Nachweise: | Basel-1 u.a. haben gezeigt, dass Untergrund künstlich durchlässig gemacht werden kann, aber viele Rückschläge / Schäden & geringe Wirtschaftlichkeit in Vergangenheit; derzeitige Schlüssel-Grossprojekte in Utah (USA) mit Erfolgen |
| Explorationskosten: | grob 100 Mio. CHF<br>je nach Erfolg des derzeitigen Projekts Haute Sorne kann erst ein weiteres Projekt starten |

tief (i.W. >4 km u.T.), Geothermie im kristallinen Grundgebirge, Direktwärme, Strom