

## Mutter Erde hat noch viel zu bieten: schier unerschöpfliche geothermische Energie

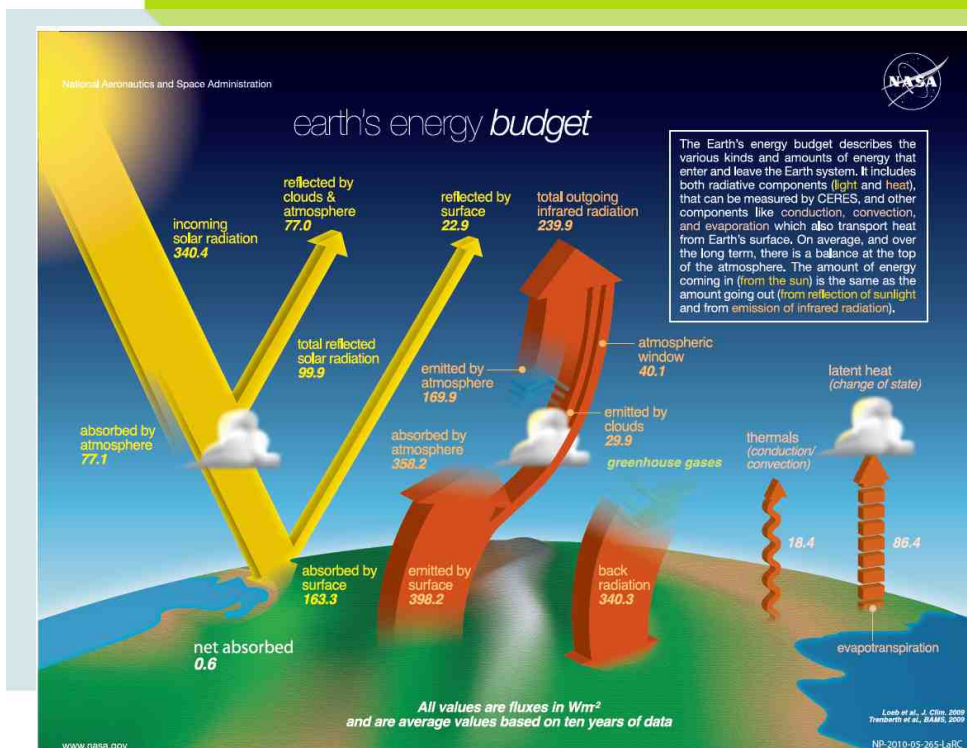


Forum für Universität und Gesellschaft Universität Bern, 15. Dezember 2012

Gunter Siddiqi, Stv. Leiter, Sektion Energieforschung



## Energiebilanz der Erde – Primärquelle Sonne



Von der Erde netto absorbiert  $0.6 \text{ W/m}^2$  oder  $600 \text{ milliWatt/m}^2$

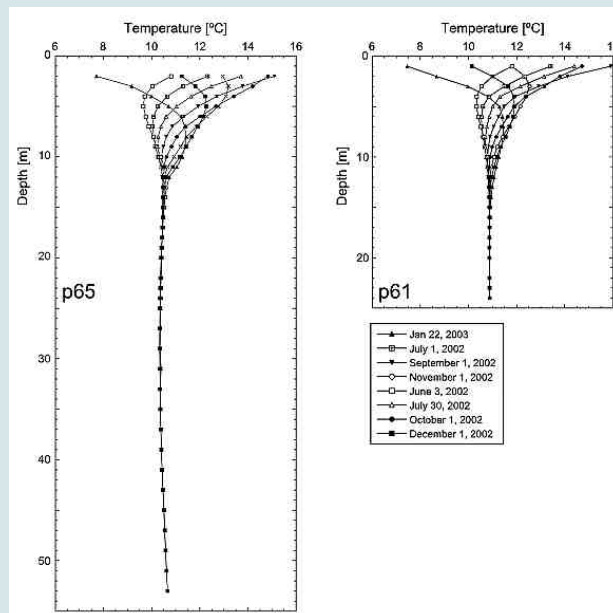
mehr dazu:  
Schwerpunkt 3  
26. Januar 2013  
Prof. Urs Muntwyler  
«Die Zukunft ist elektrisch und erneuerbar»



## Energiebilanz der Erde – wie weit dringt die absorbierte solare Energie in die Erde?

- 600 milliWatt/m<sup>2</sup> führen gemeinsam mit anderen oberflächennahen Einflüssen (Grundwasser, Klima/Wetter) im allgemeinen zu Temperaturschwankungen in den obersten 20 m.

Tiefer kommen andere Wärmequellen zum Tragen.



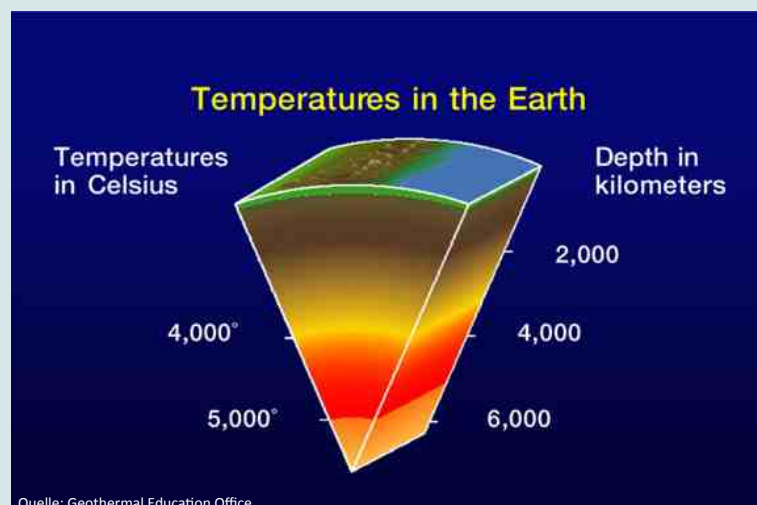
Quelle: Bense, V. F., and H. Kooi (2004), Temporal and spatial variations of shallow subsurface temperature as a record of lateral variations in groundwater flow, J. Geophys. Res., 109, B04103, doi:10.1029/2003JB002782.

3



## Energiebilanz der Erde - Erdwärme

1. Freigesetzte Ursprungswärme aus der Kühlung der Erde (~ 3% des Total)
2. Freigesetzte potenzielle Energie im Gravitationsfeld aus durch die andauernde Dichte-Differenzierung der Erde (~6%)
3. Radioaktiver Zerfall von Uran, Thorium, und Kalium im Erdmantel und Erdkruste (~ 90%)



Global kühlt sich die Erde  
50-100°C pro 1'000'000'000 Jahre ab

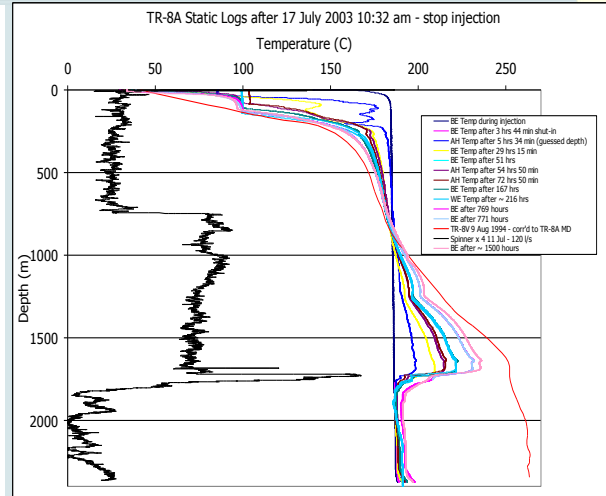
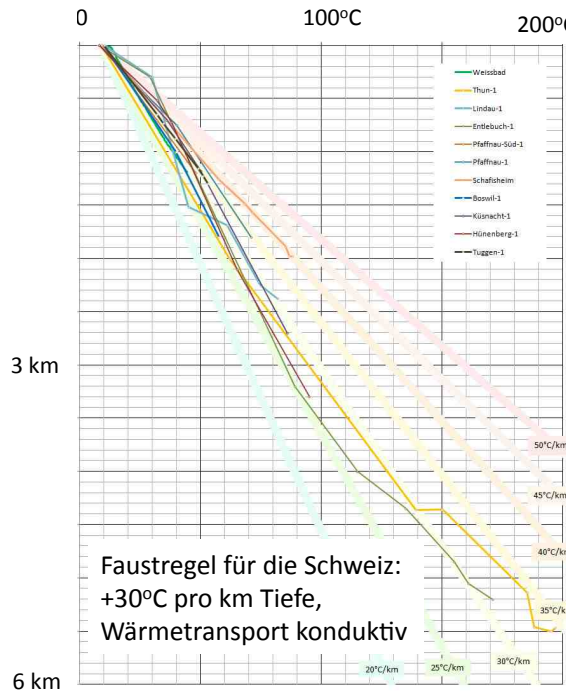
Kontinentaler Wärmefluss: ~  
60 milliWatt/m<sup>2</sup>

4



# Der Temperaturgradient der Erdkruste

## $dT/dz \neq \text{Konstante}$



Faustregel für El Salvador  
- ein Land mit vielen Vulkanen:  
+100°C pro km Tiefe,  
Anomalien wegen zirkulierendem  
Heisswasser und Dampf  
(konvektiv)

5



# Wie kann man die Wärme der Erde nutzen?



Gut etabliert oder relativ neu im Markt

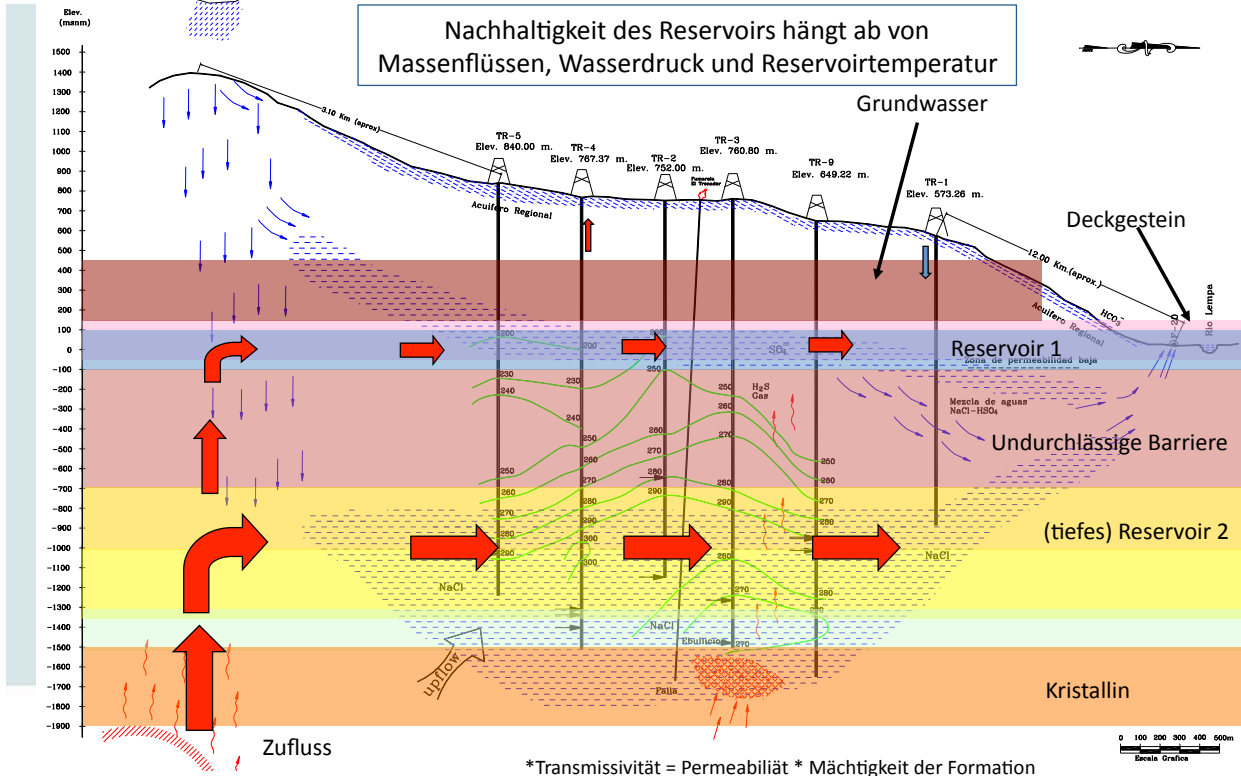
Auf der Schwelle von Demonstration zum Markt

Fokus Forschung & Entwicklung und Pilotierung

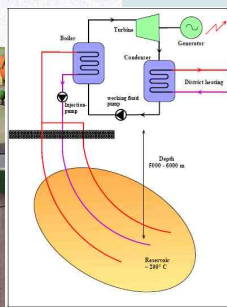
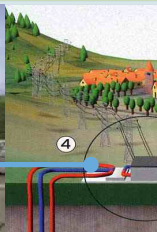




## Hydrothermale Geothermiesysteme: Geologische Formation/Struktur mit hoher Temperatur *und* Heisswasser/Dampf *und* Transmissivität\*



## EGS Engineered/Enhanced Geothermal Systems oder Petrothermale Systeme



### Bedingungen:

- Natur gibt Temperatur,
- Transmissivität wird mit ingenieurtechnisch «erschlossen» und
- Wasser wird «zugeführt»

### Forschungs- und Entwicklungsprojekte:

- Soultz sous Forêts (F), Innamicka (Australien), 7 Projekte in USA, Landau (D – Demonstration)

### Schweiz:

- 2006 EGS Basel Projekt wurde 2010 gestoppt (Schadensumme im Falle eines grösseren Erdbebens zu hoch)
- Aufarbeitung, Analyse und Lehren aus Basel durch die Forschung

Seit 2010/2011: Projektplanung durch Geo Energie Suisse AG



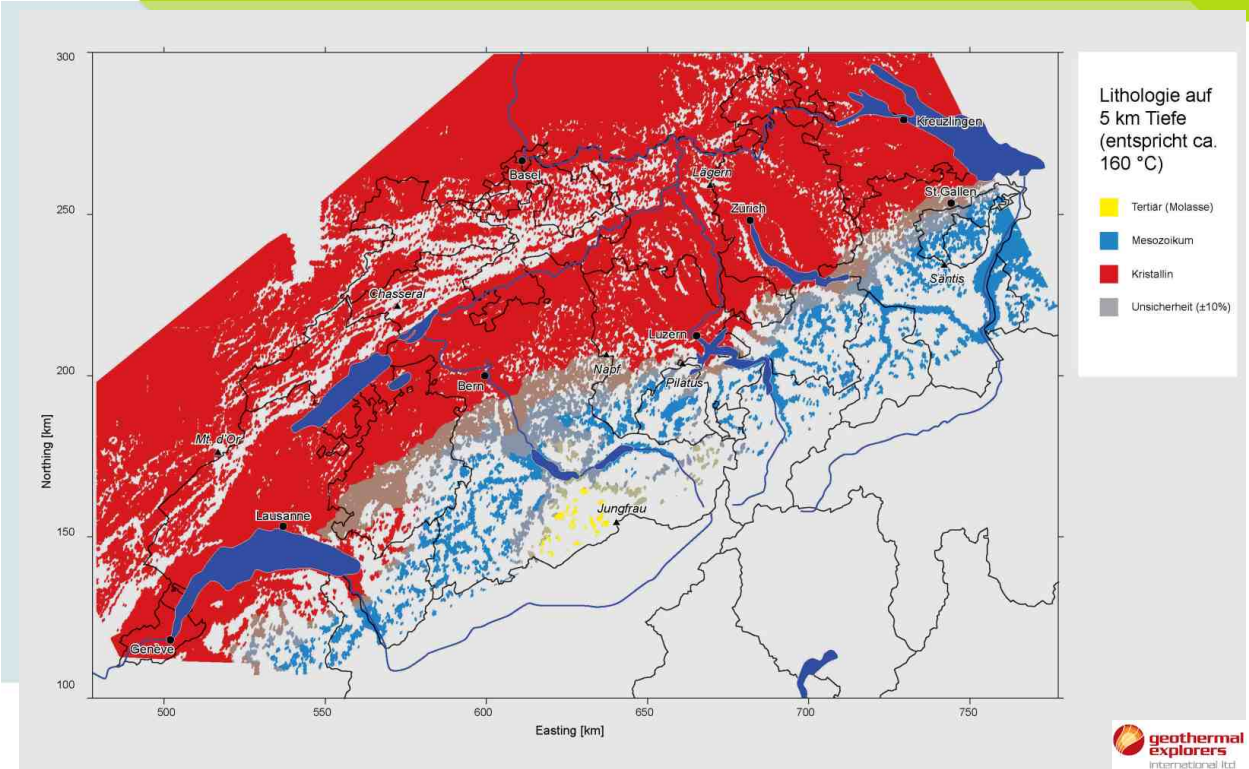
Schweizer Kompetenzzentrum für Tiefengeothermie zur Strom- und Wärmeproduktion ein Unternehmen von







## Heisses Gestein (in der Schweiz zumeist Kristallin -> EGS) ist weit verbreitet im tiefen (5 km) Untergrund



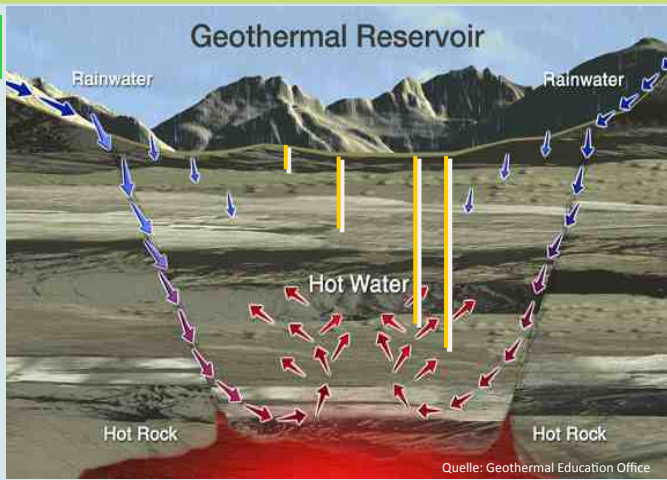
## Erschliessung eines Geothermie-Reservoirs

Exploration nach attraktiven Reservoirstandorten (sweet spot)

Erschliessung des Reservoirs

Nachhaltige Bewirtschaftung des Reservoirs

Energiewandlung in Strom (und Wärme)



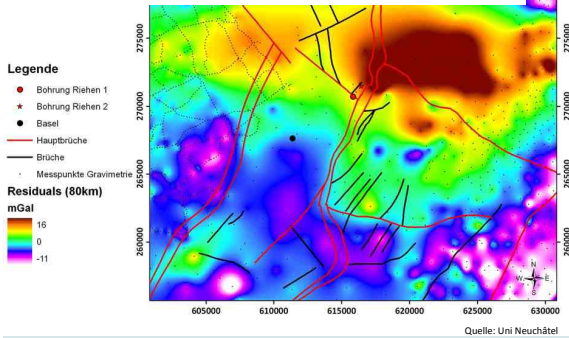
Darstellung des theoretischen Potenzial:  
 1 km<sup>3</sup> Granit von 200 auf 180°C gekühlt, könnte 20 Jahre lang 10 MW<sub>el</sub> («geothermischer» Strom ist Grundlaststrom) liefern oder 0,08 TWh pro Jahr. Bedarf der Stadt Bern: ~ 1 TWh pro Jahr.

Ressourcen zu Reserven (bis 5 km Tiefe): ~ 4-5 TWh (Reserven) von > Tausende TWh (Ressourcen)

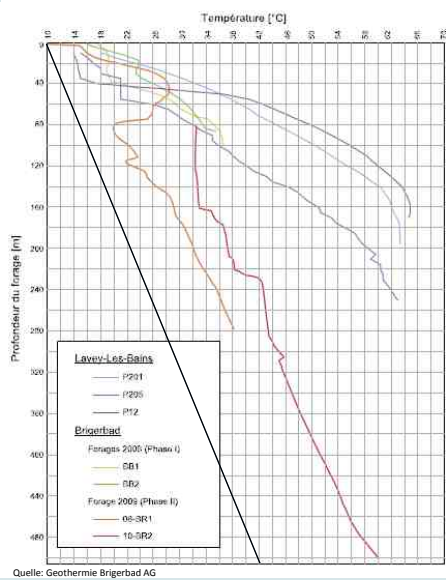


# Beispiele von Explorationsmethoden: geophysikalische Potenziale, Temperaturgradienten-Bohrungen, Seismische Messkampagnen,

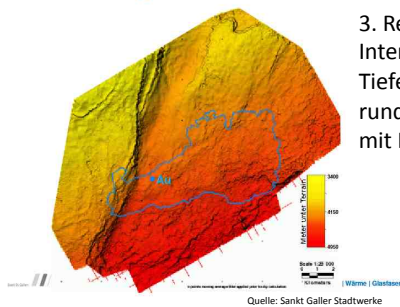
1. Gravimetrie über den Raum Riehen / Basel (BS) zur Auffindung von Störungen



2. Temperaturanomalien in Tiefen bis zu 500 m in der Region Brig-Glis (VS)



3. Auswertung 3D-Seismik



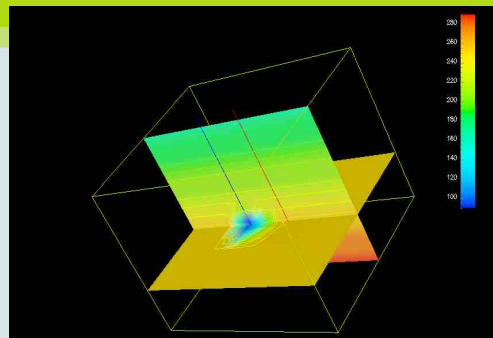
3. Region St Gallen: Interpretation der Tiefenstruktur in rund 5'000 m mit Hilfe seismischer Daten



# Für die Erschliessung eines Reservoirs braucht man:



Eine Bohranlage und eine Pumpanlage für eine mögliche hydraulische Stimulation eines Reservoirs, ...



um über ~25 Jahre Heisswasser zu produzieren



...mit Hilfe eines Bohrlochs...



einer Verpressbohrung für das gekühlte Wasser, ...

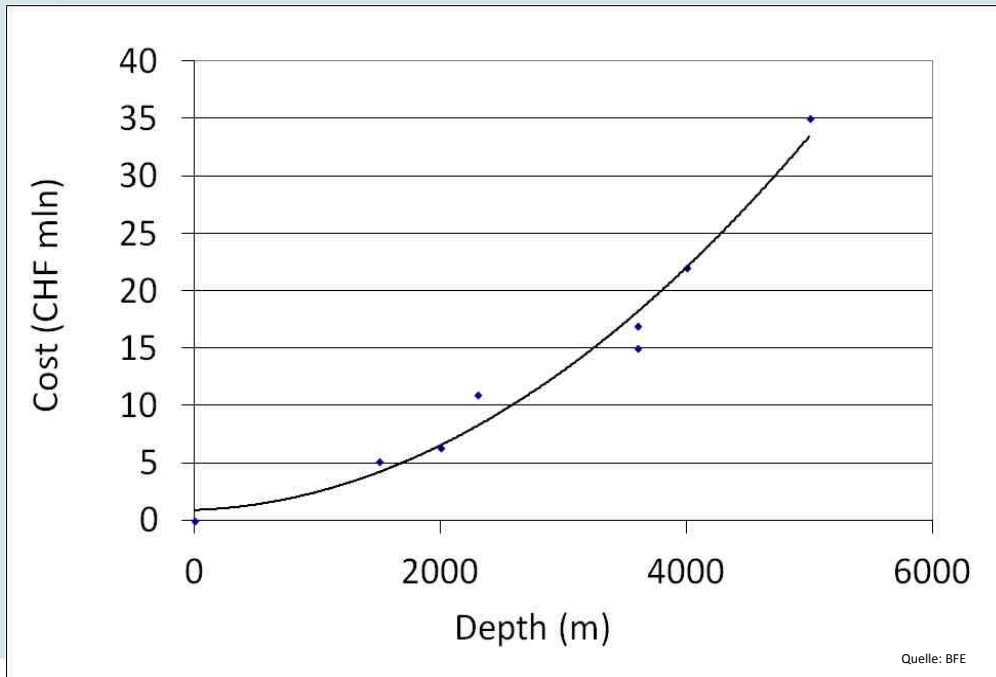


und ein Kraftwerk.

Schweiz: 75% der Investitionen: Erschliessung des Untergrunds; 25% Obertägige Bauten



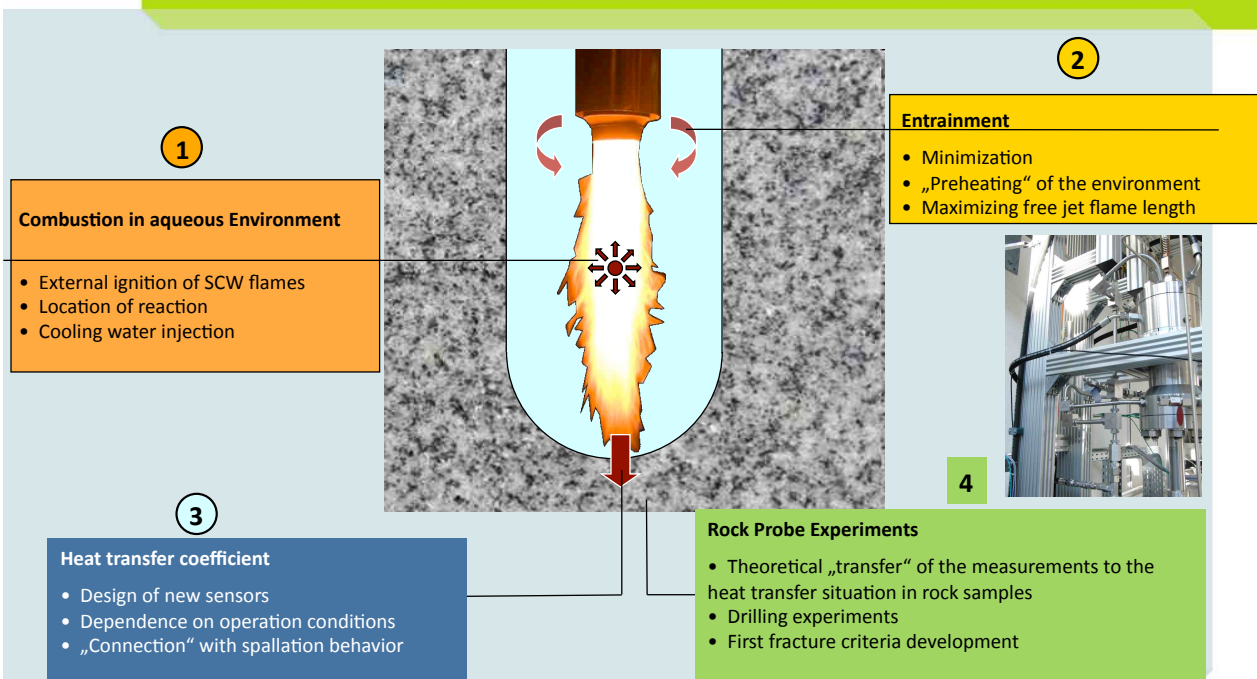
## Hauptkostenfaktor: Bohrkosten



13



## «Thermal spallation» Bohrverfahren – mitentwickelt an der ETH Zürich

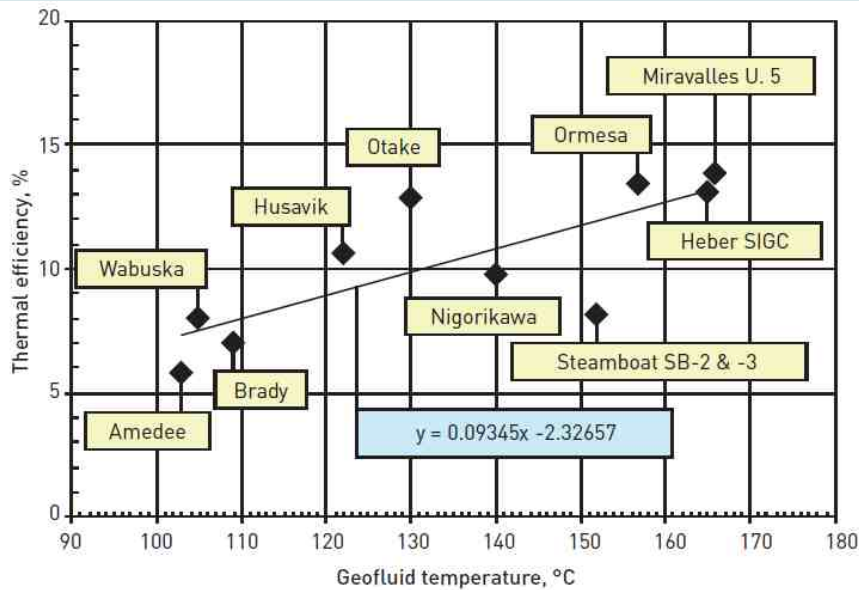


14





## Effizienz der Energiewandlung von Wärme in Strom abhängig von der Geofluid-Temperatur (Beispiele für typische Kraftwerkstechnologien)



Beispiel:  
Wärmemenge am Bohrkopf  
100 kg/s \*  
(130°C – 90°C) \*  
4500 (J/kg) /°C = 18 MW<sub>th</sub>

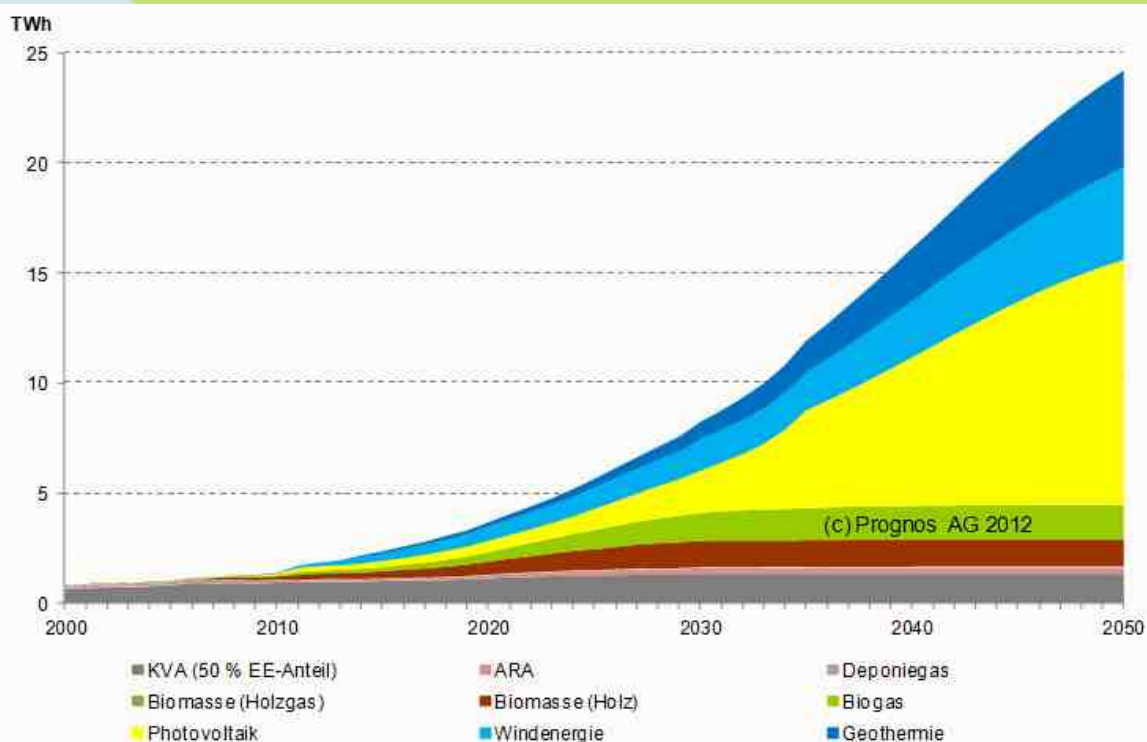
Energiewandlung:  
~10% effizient  
18MW<sub>th</sub> \* 0.1 = 1.8 MW<sub>el</sub>

Quelle: Fig. 7.2. aus The Future of Geothermal Energy Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century - An assessment by an MIT-led interdisciplinary panel

15



## Energiestrategie 2050: Strom aus erneuerbaren Energien – langfristig ausgerichtet!

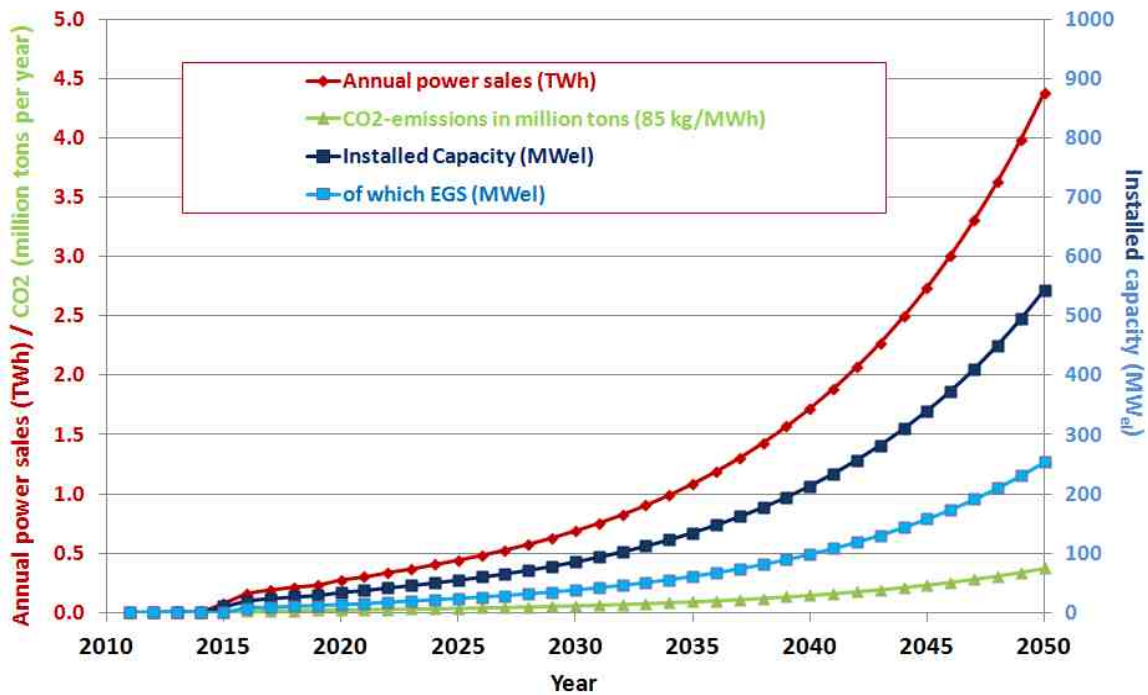


16





## Szenario, um «optimale» Rahmenbedingungen zu definieren: Wachstum der Geothermie durch Hydrothermal und EGS

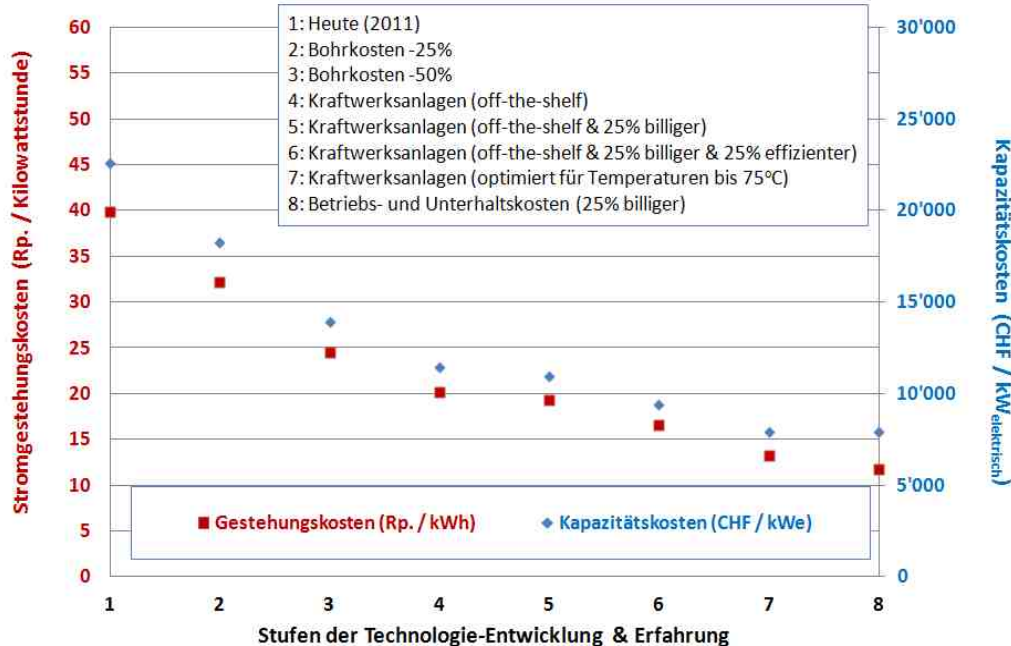


Quelle: BFE



## Mögliche Kostenevolution, um dereinst wettbewerbsfähig zu sein – hydrothermale Geothermie

Doublette auf 5000 m (CHF 48 Million); 17 MW<sub>th</sub>, Strom 3 MW<sub>el</sub> (ORC: CHF 13 Million), Kapitalkosten 3.5%

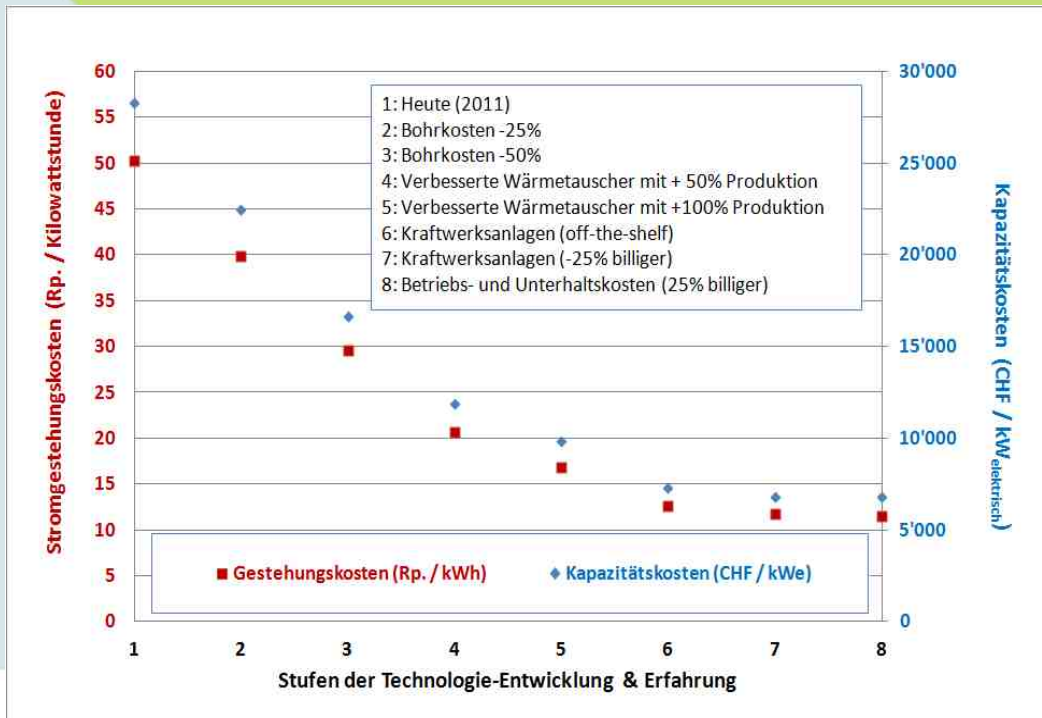


18

Quelle: Bundesamt für Energie



## Mögliche Kostenevolution zur Wettbewerbsfähigkeit - EGS



19

Quelle: Bundesamt für Energie



## Förderpolitik 2012 – 2 Hauptelemente

### 1. KEV (gedeckt)

Installierte Leistung	Tarif (Rp./kWh)
≤ 5 MW	40.0
≤ 10 MW	36.0
≤ 20 MW	28.0
> 20 MW	22.7

### 2. Förderfonds ("Risikogarantie")

Aber trotz attraktiver Rahmenbedingungen nach 4 Jahren wenig Aktivität

20



## Welche Barrieren sind geeignet, um mit energiepolitischen Massnahmen noch weiter gesenkt zu werden?

### Leitgedanken:

- Hauptbarrieren
  - Exploration/Fündigkeit
  - Reservoir-Erschliessung (inklusive EGS)
  - Kompetenzen/Fähigkeiten der Marktteilnehmer
  - Rechtsschutz und Investitionssicherheit
- Risikoklassen
  - Technische: zum Teil geeignet
  - Ökonomische: bedingt geeignet
  - Kommerzielle: nicht geeignet
  - Organisationelle: schlecht geeignet
  - Politische/gesellschaftliche: geeignet
- Bund stellt Rahmenbedingungen, Industrie setzt um
- Kosten: was wollen sich die Konsumierenden/Steuerzahlenden leisten?

Siehe auch «Risk Quantification and Risk Management in Renewable Energy Projects»  
(Report commissioned by the IEA – Renewable Energy Technology Development)

21



## Nach 4 Jahren wenig Aktivität: Vorschläge (Energiestrategie 2050) zum weiteren Risikotransfer

### Risikogarantie – Förderfonds:

- Feld-basierte Explorationskampagnen (z.B. MT,  $\rho$ ,  $g$ , Seismik, T-grad) anrechenbar, aber keine der Arbeiten ist verpflichtend!

- Maximale Deckung: 60% der Investitionskosten

- Periodische Aufstockungen des Förderfonds (max. 10% der jährlichen Erträge aus den Zuschlägen der Konsumentinnen/Konsumenten Rp. 0,45/kWh an swissgrid)

Dauer: spätestens bis Privatwirtschaft in der Lage ist, Risiken zu transferieren;  
verpflichtende Archivierung bei swisstopo, Kompetenzzentrum des Bundes für Geoinformation

### Einspeisetarife:

- Keine Erhöhung für hydrothermale Projekte

- Jedoch ein Zuschlag für ein deklariertes EGS Projekt von 7,5 Rp./kWh

22



## Weitere Rahmenbedingungen ...

- Kommunikationsoffensive und Stärkung des Fachverbands geothermie.ch
- Vorschläge zu Regeln und Normen für Rechtsschutz und Investitionssicherheit & Bewilligung und Aufsicht
- Einheitliche und beschleunigte Bewilligungsverfahren

### **Pilot und Demonstration:**

- Aufstockung von Budgets des Bundesamt für Energie für Ausschreibungen im Bereich der erneuerbaren Energie (auch Geothermie)

### **Geothermisches Informationssystem:**

In Anlehnung an z.B. Thermo GIS / Niederlande; GeotIS / Deutschland, und über Swisstopo (Kompetenzzentrum des Bundes für Geoinformation)

**Ab 2020:** Umbau vom Fördersystem hin zu einem Lenkungssystem

23



## Erhöhung des EMV: Rolle der Forschung & Entwicklung und Pilot- und Demonstrationsprojekte

### **Energieforschungskonzept des Bundes erstellt von der Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE (2013-2016) relevant für**

- Insbesondere
    - ETH Bereich – Hochschulen ETH Zürich, EPF Lausanne; Forschungsanstalten: PSI, WSL, Empa, Eawag; und Kompetenzzentren e.g. CCEM (Energie & Mobilität) und CCES (Umwelt & Nachhaltigkeit)
    - Fachhochschulen
    - Ressortforschung des Bundes (e.g. Bundesamt für Energie)
    - SBFI, SNF, KTI
  - Aber auch kantonale Universitäten
- [http://www.bfe.admin.ch/themen/00519/index.html?lang=de&dossier\\_id=00798](http://www.bfe.admin.ch/themen/00519/index.html?lang=de&dossier_id=00798)
- Zur Zeit in Druck

### **1. «Aktionsplan koordinierte Energieforschung Schweiz» erstellt im Auftrag der Interdepartementalen Arbeitsgruppe (IDA) Energie (EDI – EVD – UVEK)**

- Grundlage einer Sonderbotschaft des Bundesrats zur Energieforschung Oktober 2012, Zusatz zur Botschaft für Forschung und Innovation BFI

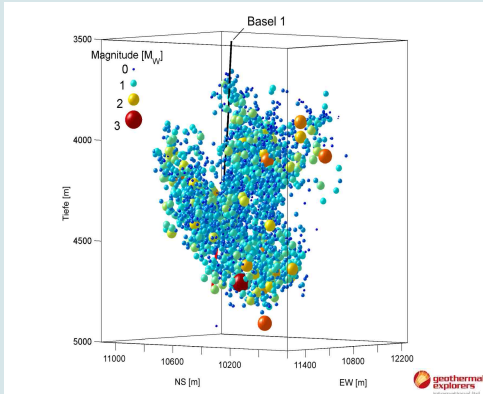
<http://www.sbf.admin.ch/AktionsplanKoordinierteEnergieforschung.pdf>

24



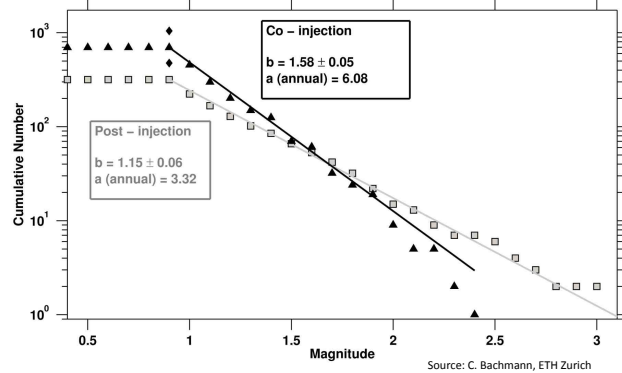


## Analyse und Lehren aus dem Basler EGS Projekt: Unerwünschte Erdbeben während der hydraulischen Stimulation

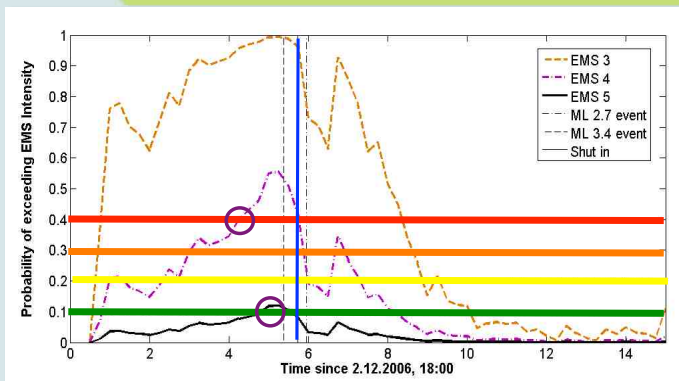


- Erstmalige hydraulische Tests, die den technischen Erfolg beweisen
- Numerische Methoden, um Prozesse im Reservoir zu modellieren

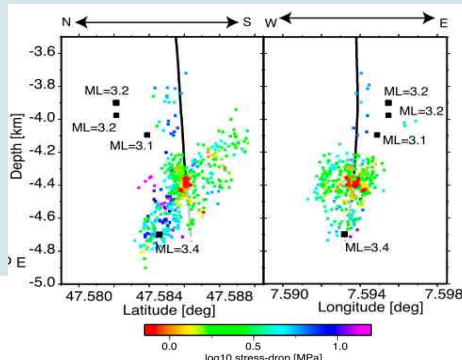
- Neue Daten, Analysen und Lehren aus:
  - Petrophysikalischen Beobachtungen im Bohrloch
  - Detaillierte Tiefenanalyse der seismischen Daten
  - Statistische Methoden zur Erdbebenprognose



## ... und Entwicklung von Werkzeugen, um die Risiken auf ein «so tief wir praktikabel mögliches» Niveau zu senken

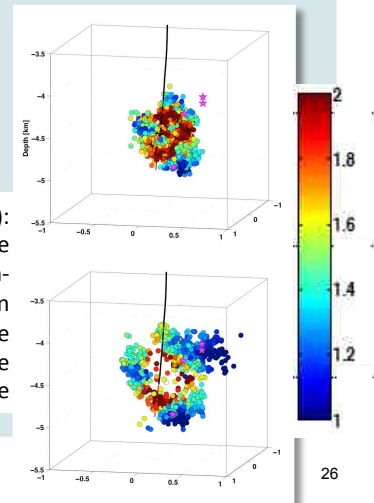


Entwicklung von Kontrollsystemen für die hydraulische Stimulation:  
6-Stunden Bebenvorhersage durch eine dynamische Echtzeit-Gefahrenabschätzung



Stimulations-design:  
(1) Spannungs-Abbau korreliert mit Entfernung vom Bohrloch

(2):  
Gewünschte Mikrobeben-Familien haben spezielle statistische Merkmale



Quelle: Corinne Bachmann und Bettina Allmann-Goertz, ETH Zurich



## GEOBEST: Seismische Beobachtungen am St. Galler Geothermie-Projekt (Bohrbeginn 2013)



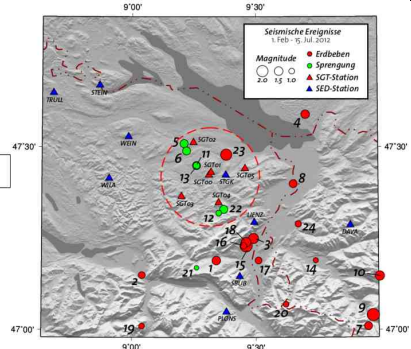
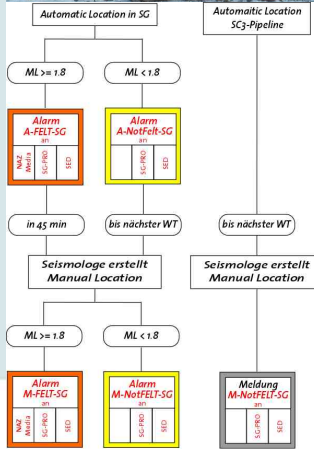
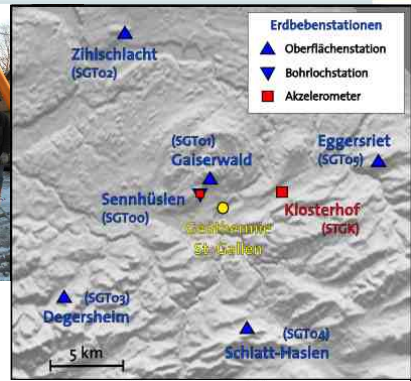
**Issue:** Regulatory authorities require practical guidelines to manage risks associated with induced seismicity

**Work underway:**

- Set-up of seismic monitoring network
- Development of warning system and work flow depending on intensity and magnitude of induced seismicity
- Recording of background seismicity prior to drilling and completing wells and execution of production and circulation tests

**Goal is to:**

- Develop and implement a risk management system for induced seismicity
- Develop site-specific good practices in collaboration with regulatory and oversight authorities
- Maintain and regain public trust



## Die Schweiz setzt auf eine internationale Zusammenarbeit, um Aufwand, Entwicklungsrisiken, Lehren und Fortschritte zu teilen



Langfristige Kooperation mit Australien, Island, Neu Seeland und USA für Engineered Geothermal Systems / Petrothermale Systeme



Tiefe Verankerung im Geothermal Implementing Agreement der Internationalen Energieagentur



In Europa, die Vernetzung von Forschungsprogrammen in 9 Ländern



Und mit weiteren Partnern innerhalb der europ. Union für Forschung und Entwicklung  
 - European Energy Research Alliance EERA  
 - Forschungsrahmenprogramme der EU



## Die Geothermie braucht Ausdauer und einen langen Atem!

Kontakt: [gunter.siddiqi@bfe.admin.ch](mailto:gunter.siddiqi@bfe.admin.ch)

