

## Durchbruch für die Tiefengeothermie – Kleine Schritte mit großem Erfolg

TEXT: Peter Meier, Falko Bethmann, Andrés Alcolea, Dieter Ollinger,  
Francisco Serbeto, Ben Dyer, Raymi Castilla, Fabien Christe und Dimitrios Karvounis



**Dr. Peter Meier**

CEO Geo-Energie Suisse AG

**Kontakt:**

[p.meier@geo-energie.ch](mailto:p.meier@geo-energie.ch)

[www.geo-energie.ch](http://www.geo-energie.ch)

**Weitere Auskünfte erteilen:**

Deutsch: Peter Meier

CEO Geo-Energie Suisse

Tel +79 248 48 65

Französisch: Olivier Zingg

Projektverantwortlicher

Romandie

Tel. +41 79 321 43 20

Ende 2020 ist es der Geo-Energie Suisse AG (GES) gelungen, den technischen Nachweis für das vom Unternehmen patentierte Multi-Etappen-Stimulationskonzept zu erbringen. Die erfolgreiche Demonstration erfolgte im »Bedretto Underground Laboratory for Geosciences and Geo-energy« der ETH Zürich im Kanton Tessin. Vom Erfolg im Gotthard-Massiv erhofft sich Geo-Energie Suisse neuen Schub für das Pilotprojekt in Haute-Sorne (Kanton Jura) und für die Produktion von Strom und Wärme aus Geothermie in der ganzen Schweiz.

Das Potenzial der Geothermie als erneuerbare, klimaneutrale Energiequelle ist unbestritten. Die natürliche Wärme in der Erdkruste produziert keinen CO<sub>2</sub>-Ausstoß und liefert konstant thermische Energie, die für die Stromproduktion oder direkt als Wärmequelle genutzt werden kann. Zudem verursacht ein Geothermiekraftwerk einen vernachlässigbaren Eingriff in die Landschaft, da es nur sehr wenig Bodenfläche beansprucht. Zurzeit gibt es jedoch eine zentrale Schwierigkeit, die für eine flächendeckende, wirtschaftliche Nutzung der Erdwärme als erneuerbare Stromquelle überwunden werden muss: Deren zuverlässige und ortsunabhängige Erschließung außerhalb von geothermischen Hotspots, wie sie beispielsweise Island, Indonesien oder Neuseeland aufweisen.

Die ETH Zürich hat mit Unterstützung der Werner-Siemens-Stiftung eine neue Forschungsinfrastruktur aufgebaut, um solchen Fragen nachzugehen. Im »Bedretto Underground Laboratory for Geoennergies« untersucht sie in enger Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnern Techniken und Verfahren, um Erdwärme sicher, effizient und langfristig zu nutzen. GES demonstrierte als externer Partner im Bedretto-Labor im Rahmen der Projekte DE-STRESS, ZoDrEx und IASS, wie sich im Untergrund schonend ein Wärmetauscher erstellen lässt.

### Erster Nachweis des von GES patentierten Multi-Etappen-Stimulationskonzepts

2006 wollte man in Basel an einem vertikalen, offenen Bohrloch in einem einzigen Schritt ein geothermisches Reservoir bilden. Die hydraulischen Stimulationen lösten jedoch inakzeptable Erdbeben aus. Als Antwort auf die technische Herausforderung einer sicheren Reservoirerschliessung hat die Geo-Energie Suisse AG darauf das Multi-Etappen-Stimulationskonzept entwickelt und im Jahr 2012 für die Schweiz patentieren lassen. Das Konzept sieht vor, in der für die Stromproduktion notwendigen Tiefe von 4 bis 5 Kilometern mittels gezielter Wasserinjektionen ein durchlässiges Reservoir im kristallinen Grundgebirge zu bilden. Um das damit verbundene Erdbebenrisiko zu minimieren, wird die hydraulische Stimulation abschnittsweise und in kleinen, zeitlich gestaffelten Schritten durchgeführt. Dabei wird entlang eines horizontal abgeteuften Bohrlochs eine Sequenz von Reservoirkammern generiert. Diese werden mit einem zweiten, horizontal abgelenkten Bohrloch erschlossen. So entsteht in der Summe ein großer, unterirdischer Wärmetauscher, mit dessen Hilfe im eigentlichen Geothermiekraftwerk Strom produziert und Wärme ausgekoppelt werden kann. Dass dieses Multi-Etappen-Stimulationskonzept funktioniert, konnte Geo-Energie Suisse nun erstmals in der Schweiz, im Bedretto-Labor der ETH Zürich, nachweisen.

### Meilenstein für die Nutzung der Tiefengeothermie in der Schweiz

»Es ist uns gelungen, im kompakten Granit des Gotthardmassivs mithilfe von gezielten Stimulationsmaßnahmen eine Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit um den Faktor 10 bis 100 zu erreichen und die für die Rissbildung notwendigen Mikrobeben zu messen und zu kontrollieren«, erklärt Dr. Peter Meier, CEO der Geo-Energie Suisse AG, und ergänzt: »Ich bin überzeugt, dass dieser Durchbruch ein zentraler Meilenstein auf dem Weg zum ersten Tiefengeothermiekraftwerk in der Schweiz ist. Dies einerseits, weil die erzielte Durchlässigkeit in einem der zwei Bohrlöcher der notwendigen Transmissivität

für eine wirtschaftliche Anwendung entspricht. Andererseits, und das ist zentral, lag die mit den Stimulationen verbundene Mikroseismizität mit Magnituden von maximal -1,8 Mw auf der Richterskala rund 1 Million tiefer als damals in Basel. Diesen Erfolg erzielte GES im Rahmen von Demonstrations- und Innovationsprojekten mit der Beteiligung von nationalen und internationalen Partnern (siehe S. 25, Textkasten). Als Nächstes folgt nun die wissenschaftliche Auswertung durch die ETH Zürich, die École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) und die Universität Neuenburg. Die Auswertungen bilden die Grundlage für das zukünftige, detaillierte Stimulationsprogramm des Pilotprojekts der Geo-Energie Suisse am Standort in Haute-Sorne im Kanton Jura. Ein weiteres erfolgreich erreichtes Zwischenziel von GES war die Qualifikation und Validierung neu entwickelter technischer Komponenten, die für die Sicherheit relevant oder für die Erstellung des tiefeingeothermischen Reservoirs wirtschaftlicher sind.

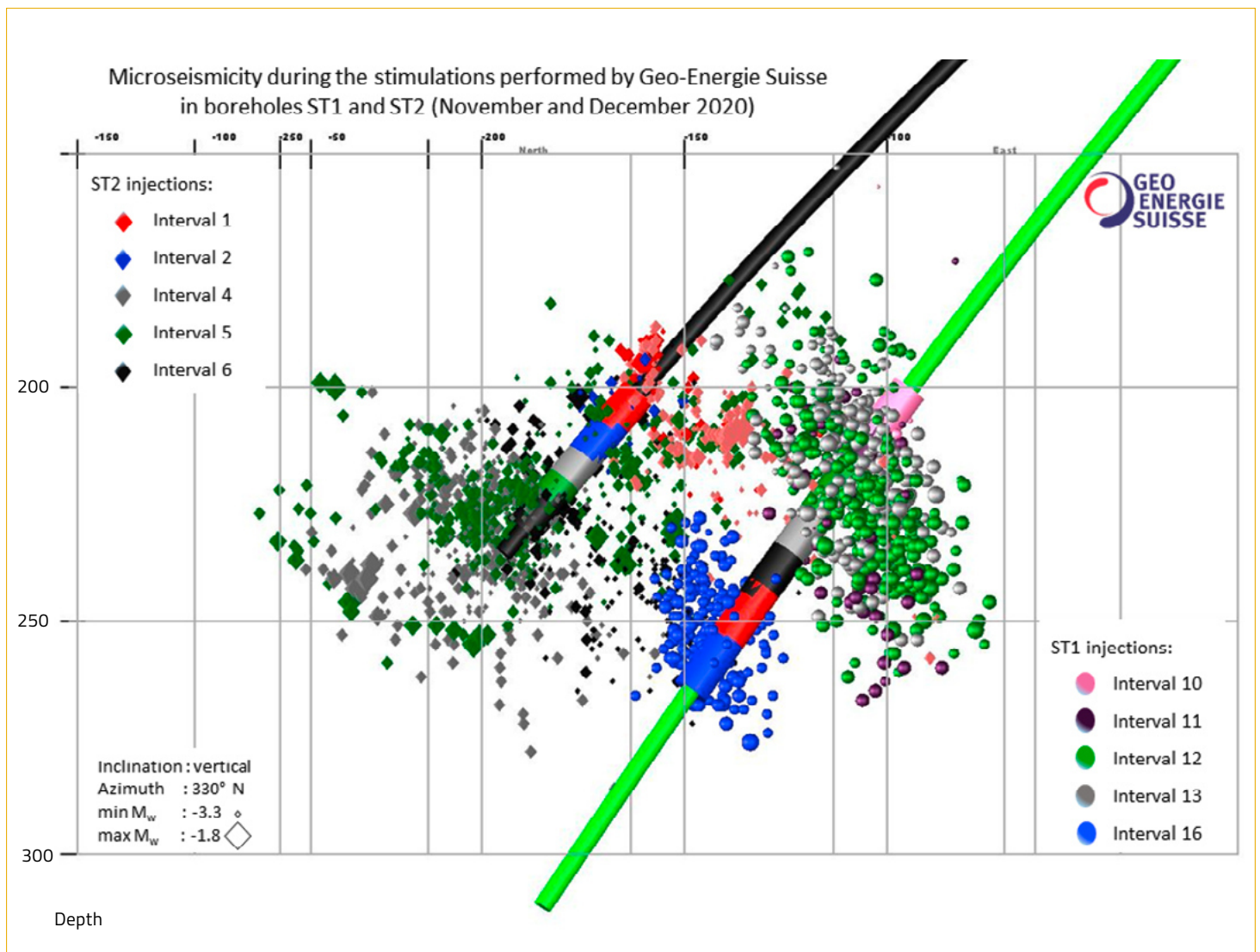
Weitere Qualifikations- und Validierungsarbeiten sind für 2021, 2022 und 2023 geplant.

**Internationale Zusammenarbeit als Schlüssel für Zuverlässigkeit und Weiterentwicklung von Innovationen**

Als Industriepartnerin wird GES im laufenden Jahr die im Bedretto-Labor gewonnenen Erkenntnisse am US-amerikanischen Versuchstandort FORGE Utah (Frontier Observatory for Research in Geothermal Energy) zusätzlich noch im Hochtemperaturbereich validieren. Der Fokus liegt dabei auf der Nutzung seismischer Sensoren zur Kontrolle und Steuerung der induzierten Mikroseismizität - ein zentrales Element für die sichere Stimulation des tiefen Untergrundes. Eine weitere Maßnahme, um die Erfolgchancen und Sicherheit für das schweizweit erste tiefeingeothermische Pilotprojekt im jurassischen Haute-Sorne zu erhöhen und der Nutzung der Tiefeingeothermie in der Schweiz Vorschub zu leisten.

▼ Abb. 1: Räumliche Verteilung der Mikroseismizität, die in 10 zeitlich gestaffelten Intervallen und räumlich voneinander isolierten Stimulationszonen aufgetreten ist und zu permanenten Mikrorissen im Granitgestein geführt hat. (Geo-Energie Suisse)

Videos:



### Erfolg bringt neuen Schub für das Pilotprojekt in Haute-Sorne

Ende Juni 2020 hat das Bundesamt für Energie den Erkundungsbeitrag für das Tiefengeothermieprojekt in Haute-Sorne um ein Drittel erhöht (vgl. Medienmitteilung des BFE). Mit diesem Förderbeitrag unterstützt der Bund zusätzliche Maßnahmen für das Haute-Sorne-Projekt, mit denen das Risiko von Schadbeben auf Empfehlung des Schweizerischen Erdbebendienstes an der ETH Zürich (SED) weiter reduziert wird. Entsprechende Instrumente und Methoden wurden ebenfalls im Rahmen des Demonstrationsprojekts im Bedretto-Labor erfolgreich getestet und deren Wirksamkeit nachgewiesen. Ein weiterer Erfolg, der für das Pilotprojekt in Haute-Sorne entscheidend sein könnte. »Wir hoffen, dass der Durchbruch im Bedretto-Labor das Vertrauen der jurassischen Regierung und deren Aufsichtsbehörden in das Sicherheitskonzept für das Pilotprojekt von Haute-Sorne stärkt und dass wir mit den Vorbereitungen für die Erkundungsbohrung noch 2021 starten können«, so Peter Meier.

Geo-Energie Suisse hält nach wie vor am etappenweisen Vorgehen im Pilotprojekt in Haute-Sorne fest und ist überzeugt, dass die bisherigen Erfahrungen im Bedretto-Labor, die zukünftigen Erkenntnisse in Utah sowie die zusätzliche Un-

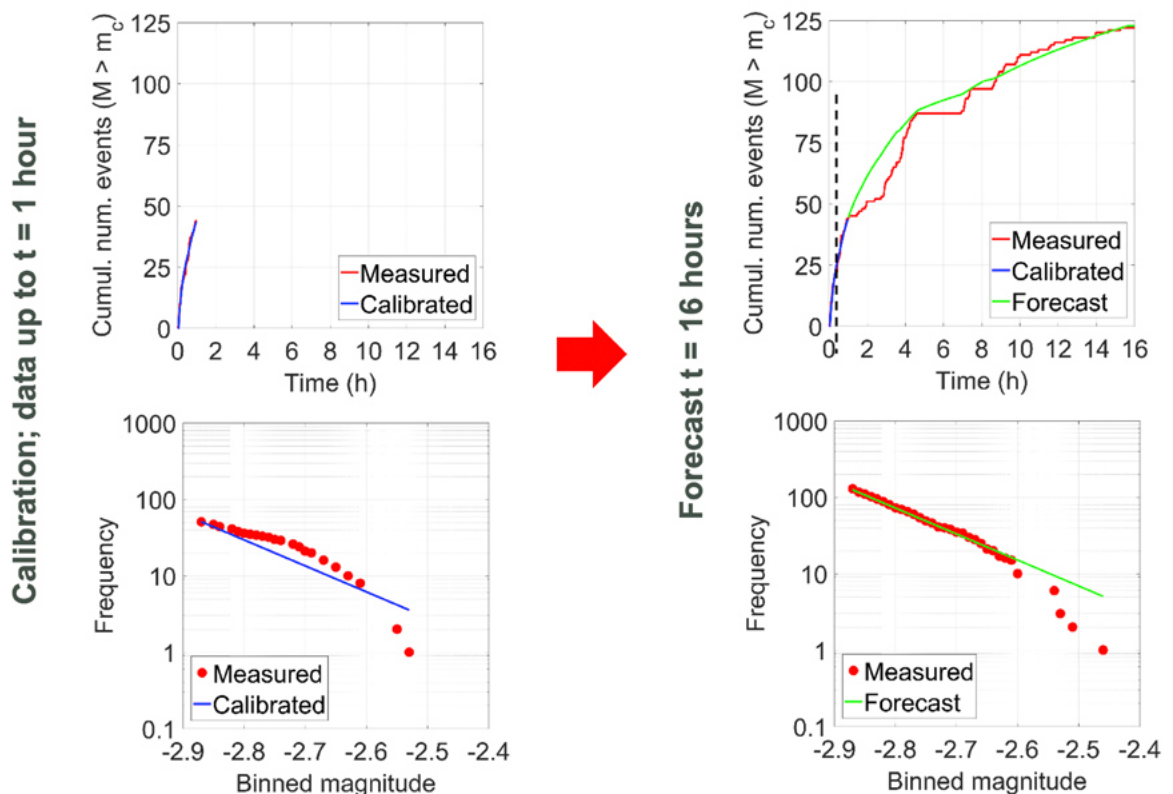
terstützung durch das BFE das Projekt in Haute-Sorne noch sicherer machen. Mit dem erfolgreich durchgeführten Demonstrationsprojekt im Bedretto-Labor erhält die Hoffnung, dass die Zukunft der Produktion von erneuerbarem, CO<sub>2</sub>-freiem und sauberem Strom aus der Tiefe ihren Anfang im Kanton Jura nimmt, neuen Schub. Gemäß Peter Meier »werden diese Innovationen und Ergebnisse der Schweizer Energie- und Klimapolitik und der gesamten entstehenden Geothermie-Industrie dienen«.

### Die zentralen Ergebnisse im Überblick

Geo-Energie Suisse ist es im Bedretto-Labor der ETH Zürich gelungen, aus zwei 350 bzw. 400 Meter langen, stark geneigten Bohrlöchern im Granit des Gotthardmassivs ein durchlässiges, geothermisches Reservoir zu bilden. Hierfür wurden etappenweise 10 hintereinanderliegende, isolierte Bohrlochabschnitte hydraulisch stimuliert. Die durch die Stimulationen induzierte Mikroseismizität liegt mit Magnituden (M<sub>w</sub>) zwischen -3,3 und -1,8 Mw rund 1 eine Million Mal tiefer als beim Erdbeben, das 2006 zum Abbruch des Geothermieprojekts von Basel geführt hat [Abb 1]. Erstmals getestete, innovative Sensorik-, Mess- und Steuerungsverfahren ermöglichen die Beobachtung und Kontrolle der hydraulischen Stimulation. Dies erhöht die

▼ Abb. 2: Die Abbildung zeigt ein von der ETH Zürich entwickeltes Verfahren zur Vorhersage der Seismizität bei hydraulischen Stimulationen.

Das Verfahren wurde im Rahmen des Demonstrationsprojekts zum Multi-Etappen-Stimulationskonzept der Geo-Energie Suisse AG im November und Dezember 2020 im Bedretto-Labor der ETH Zürich erfolgreich eingesetzt. (Geo-Energie Suisse)



Mignan, A., Broccardo, M., Wiemer, S. *et al.* Induced seismicity closed-form traffic light system for actuarial decision-making during deep fluid injections. *Sci Rep* 7, 13607 (2017).

Sicherheit bei der Erstellung geothermischer Reservoirs im kristallinen Gestein. Ein von der ETH-Zürich entwickeltes Verfahren zur Vorhersage der Seismizität wurde im Rahmen des Demonstrationsprojekts erfolgreich eingesetzt [Abb 2]. Pro Stimulationsintervall wurden gemäß der vorgängig erstellten Risikostudie maximal 100 Kubikmeter Wasser injiziert. So konnte die radiale Ausdehnung des stimulierten Kluftsystems begrenzt werden, um die Seismizität gering zu halten. Trotz geringem Injektionsvolumen (rund 120 Mal weniger als in Basel) konnte die Wasserdurchlässigkeit der stimulierten Intervalle im Mittel um ca. ein bis zwei Größenordnungen (Faktor 10 bis 100) erhöht werden. Die Durchlässigkeit einer der beiden Bohrungen (Transmissivität  $> 1e-4 \text{ m}^2/\text{s}$ ) wäre genügend hoch für eine wirtschaftliche Anwendung in einem Tiefengeothermieprojekt. Der stimulierte Bohrbereich im Bedretto-Labor befindet sich in einer Tiefe von 1.400 Metern. Das entspricht etwas weniger als einem Drittel der angestrebten Reservoirtiefe in Haute-Sorne (4.000–5.000 Meter). Die minimale Gebirgsspannung liegt im Bedretto-Labor bei etwa einem Viertel der in Basel in einer Tiefe von 5.000 Metern gemessenen Spannung. Die natürlichen Kluftdurchlässigkeiten liegen (vor der Stimulation) im Bereich derjenigen des kristallinen Grundgebirges der Nordostschweiz, wie sie in den Tiefbohrungen der Nagra im Kristallinprogramm der 1980iger Jahre gemessen wurden. Der Bohrdurchmesser (22 cm) entspricht demjenigen des von Geo-Energie Suisse geplanten Pilotprojekts in Haute-Sorne, die Bohrlänge beträgt ca. einen Drittel von der in Haute-Sorne. Die Erfahrungen im Bedretto-Labor zeigen, dass

auch stark geneigte bzw. horizontale Bohrungen im Granit technisch und wirtschaftlich machbar sind. Im März / April 2021 soll das Reservoir mittels größerem Injektionsvolumen ausgeweitet werden. Der Erfolg des Demonstrationsprojekts ist das Resultat von nationaler und internationaler Innovationszusammenarbeit und dient der gesamten Schweizer Geothermie-Industrie, um die Sicherheit und Erfolgswahrscheinlichkeit zukünftiger Projekte zu erhöhen. ♦

#### PROJEKTPARTNERSCHAFTEN:

##### DESTRESS Demonstration of soft stimulation treatments of geothermal reservoirs

[www.destress-h2020.eu/en/demonstration-sites/bedretto](http://www.destress-h2020.eu/en/demonstration-sites/bedretto),

Förderung durch das Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) unter Vertragsnummern 15.0316-1, 691728.

##### ZoDrEx Zonal Isolation, Drilling & Exploitation

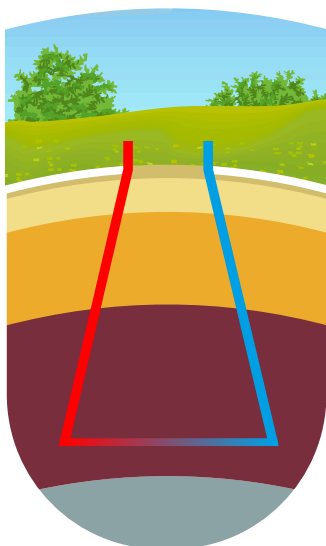
[www.geothermica.eu/projects/zodrex](http://www.geothermica.eu/projects/zodrex),

Förderung durch das Bundesamt für Energie (BFE).

##### IASS Innovative Acquisition Systems and Software for Deep Geothermal Evaluation and Monitoring in Zusammenarbeit mit Utah FORGE

[www.utahforge.com](http://www.utahforge.com),

Förderung durch das Bundesamt für Energie (BFE).



# Geothermie ist mehr als nur **heißes Wasser!**

UGS betreut Ihr Projekt und führt alle Leistungen durch

- ▶ ob flache oder tiefe Geothermie
- ▶ ob offene oder geschlossene Systeme
- ▶ ob Dublette oder mit nur einer Bohrung
- ▶ von der Machbarkeitsstudie bis zur schlüsselfertigen Übergabe Ihres Heiz- und/oder Kraftwerkes



A COMPANY OF  
**GEOSTOCK**  
ENTREPOSE