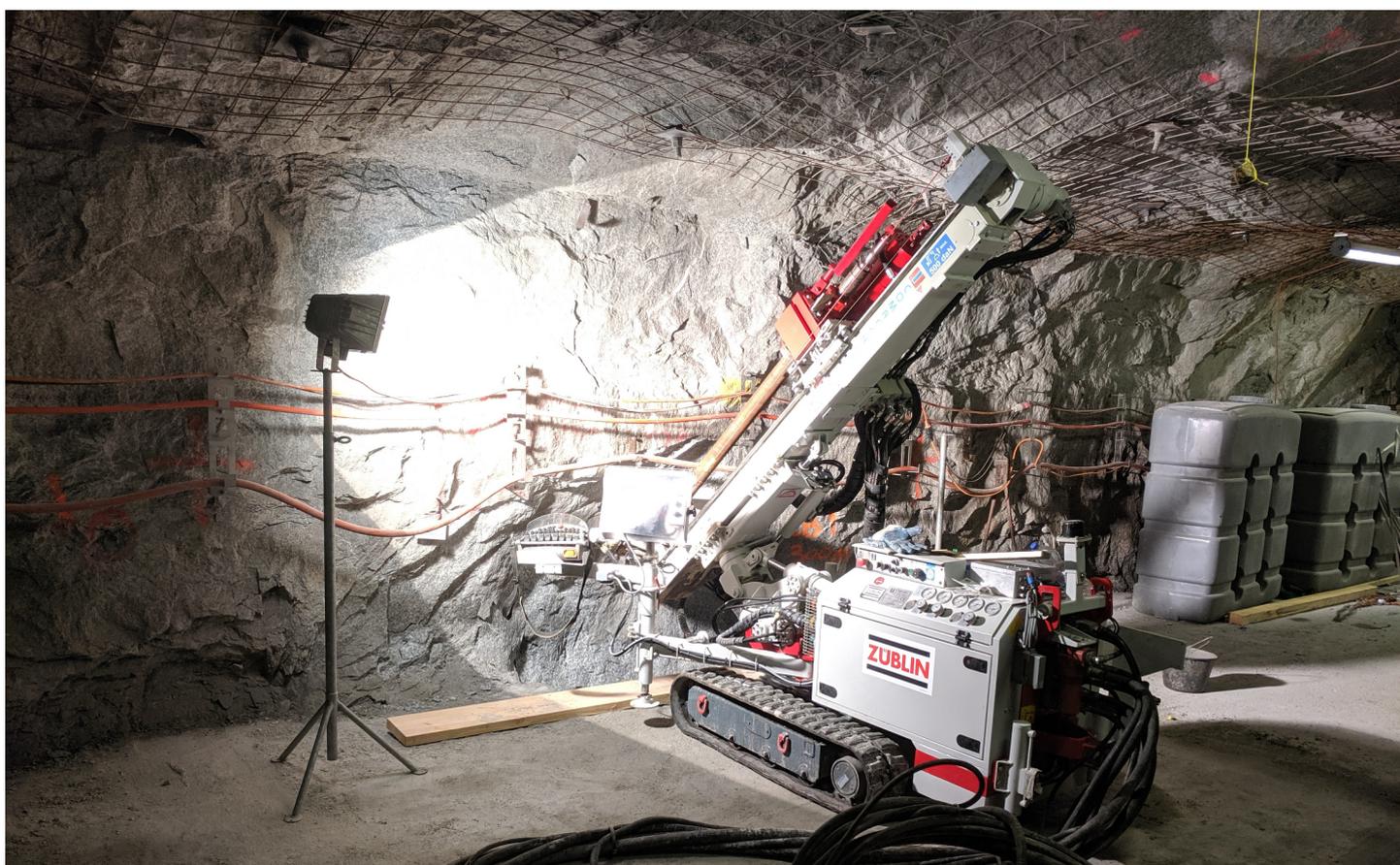
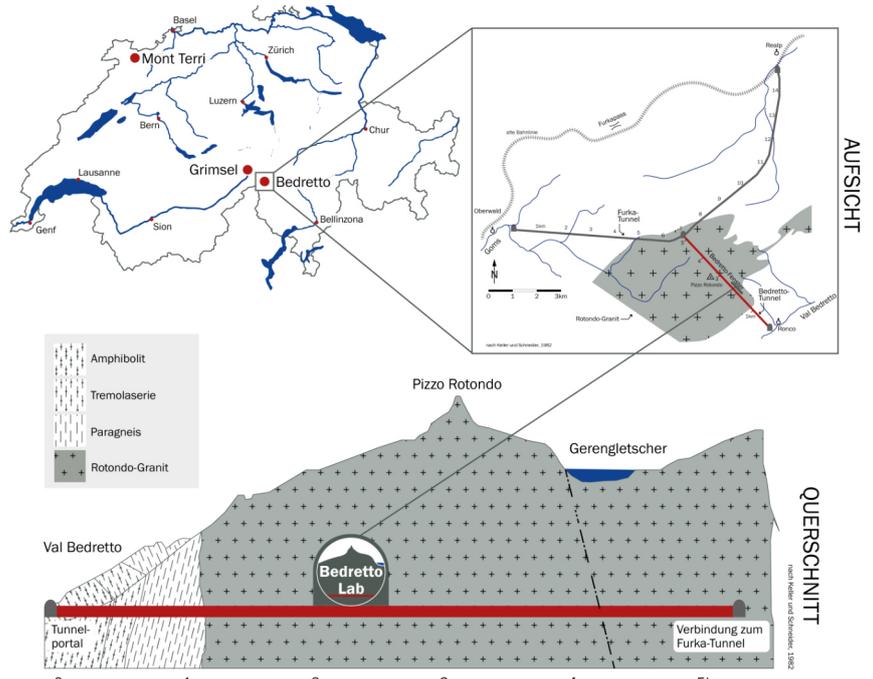


# GEOENERGIE AUS SICHEREN FELSZONEN

Erdwärme wird in der Schweiz schon intensiv genutzt, hauptsächlich mittels Erdsonden, die aus dem Boden Heizwärme und Warmwasser für Gebäude bereitstellen. Noch kaum verwendet wird die Wärme aus tieferen Erdschichten: Wer 1000 m und tiefer bohrt, der stösst auf einen gewaltigen Wärmevorrat, der für Heizzwecke, Industrieprozesse und die Stromproduktion genutzt werden kann. Die Geo-Energie Suisse AG hat im Bedretto-Felslabor der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich und mit deren wissenschaftlichen Unterstützung einen neuen Ansatz für eine sichere Nutzung der Tiefengeothermie erprobt.



Das Bohrgerät treibt eine mehrere Hundert Meter lange Bohrung von 22 cm Durchmesser in den Granit des Gotthardmassivs, in der die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der ETH Zürich danach ihre Messgeräte einführen. Foto: Schweizerischer Erdbebendienst an der ETH Zürich, 2019



Das Felslabor der ETH Zürich liegt im Bedrettotal, dem obersten Teil der Leventina. Es ist umgeben von Granit, einem kristallinen Gestein. Foto/Grafik: Schweizerischer Erdbebendienst an der ETH Zürich, 2020/Luxwerk.ch

Eine fast unerschöpfliche Energiequelle liegt direkt unter unseren Füßen: Bohrt man in der Schweiz einen Kilometer tief, ist der Fels 40 °C warm. In fünf Kilometern Tiefe sind es sogar 160 °C. Erdwärme stellt einen gewaltigen Vorrat an Wärme bereit, der auch für die Produktion von Strom genutzt werden kann, sofern die Temperaturen über 100 °C liegen. Ak-

tuell beziehen Herr und Frau Schweizer jedes Jahr vier Milliarden Kilowattstunden (kWh) Erdwärme. Sie deckt 4% des landesweiten Wärmebedarfs. Der grösste Teil stammt aus der obersten Erdschicht. Erdwärmesonden nehmen die Energie auf, bevor Wärmepumpen sie mithilfe von Elektrizität auf das für Heizung und Warmwasser benötigte Temperaturniveau bringen.

## FELSLABOR DER ETH ZÜRICH

Der Zugang zum Bedretto-Felslabor der ETH Zürich liegt rund 20 Busminuten oberhalb von Airolo. Das Labor befindet sich in einem Stollen, der für den Bau des 1982 eröffneten Furka-Basistunnels ausgebrochen worden war. Das im Haupttext dargestellte Projekt baut auf den Untersuchungen auf, die 2017 im Grimsel-Felslabor der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) durchgeführt wurden. Das Projekt zur Erforschung der Reservoirstimulation im Bedretto-Labor, das noch bis zum Sommer 2021 läuft, wird von der Geo-Energie Suisse AG (Zürich) mit wissenschaftlicher Unterstützung der ETH Zürich durchgeführt, finanziell unterstützt vom Bundesamt für Energie. Geo-Energie Suisse wird von sieben Energieversorgungsunternehmen getragen, darunter die Stadtwerke von Basel, Bern und Zürich. Hauptziel des Unternehmens ist die Erstellung eines Pilotkraftwerks für Tiefengeothermie. Ein solches wird am Standort Haute-Sorne (Kanton Jura) angestrebt. BV

## Wasser durchströmt zerklüfteten, heissen Felsen

Der Beitrag der Erdwärme (Geothermie) an die Energieversorgung lässt sich noch beträchtlich steigern – durch Ausbau der Erdsonden, aber auch, indem die Erdwärme in mittlerer Tiefe (500 bis 3000 m) und in sehr tiefen Regionen (3000 m und tiefer) genutzt wird. Nach der Basisvariante des Szenarios Netto-Null (ZERO) der Ende 2020 veröffentlichten «Energieperspektiven 2050+» des Bundesamts für Energie könnte die Geothermie im Jahr 2050 5,5 TWh zur Energieversorgung beisteuern, davon 2 TWh als Strom und 3,5 TWh für die Fernwärmeproduktion. Der Dachverband «Geoenergie Schweiz» beziffert den möglichen Beitrag zur Wärmeversorgung sogar mit 17 TWh; das wäre rund ein Viertel des Wärmebedarfs, den die «Energieperspektiven 2050+» für das Jahr 2050 annehmen. Je nach Bohrtiefe empfehlen sich zur Gewinnung der Erdwärme unterschiedliche Verfahren. In Tiefen von 3000 m und mehr steht die Methode der petrothermalen Geothermie im Vordergrund: Hierbei wird über eine Bohrung Wasser mit hohem Druck in das kristalline Felsgestein ge-

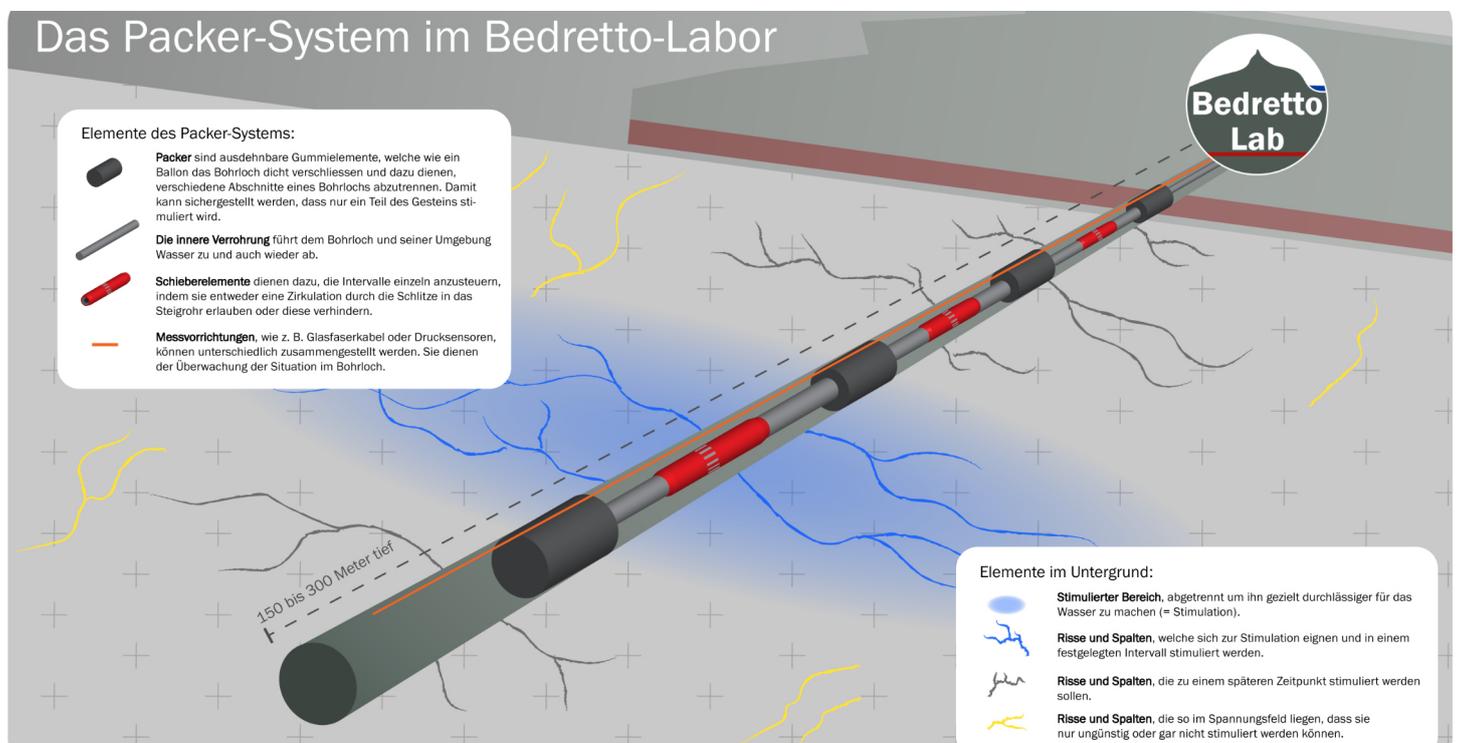
presst. Das Wasser dringt in vorhandene Felsritzen (Klüfte) ein und weitet sie. Die hydraulische Stimulation schafft im Fels sogenannte «Reservoirs», also Räume, in denen das zirkulierende Wasser Wärme aus dem zerklüfteten Fels aufnehmen kann. Das auf 100 und mehr Grad erhitzte Wasser gelangt anschliessend durch eine zweite Bohrung zurück an die Erdoberfläche. Der heisse Dampf kann zur Wärme-, vor allem aber auch zur Stromproduktion genutzt werden.

Genau das war die Idee einer 5000 m tiefen Geothermie-Bohrung von 2005 in Basel. Das Projekt «Deep Heat Mining Basel» musste allerdings abgebrochen werden, nachdem sich mehrere wahrnehmbare Erdbeben ereignet und Befürchtungen der Bevölkerung vor einem grossen Erdbeben geweckt hatten. 2011 gründeten Stadtwerke und regionale Energieversorgungsunternehmen aus der ganzen Schweiz die GEO-Energie Suisse AG. Das Unternehmen zog die Lehren aus den Erfahrungen in Basel und entschied sich für einen neuen Ansatz. Um Geoenergie sicher zu fördern, griffen die Verantwortlichen auf das aus der Erdölindustrie bekannte Multi-Etappen-Stimulationskonzept zurück. «2012 haben wir dieses Verfahren für die Schweiz patentieren lassen; im Spätherbst 2020 konnten wir nun im Bedretto-Labor der ETH Zü-

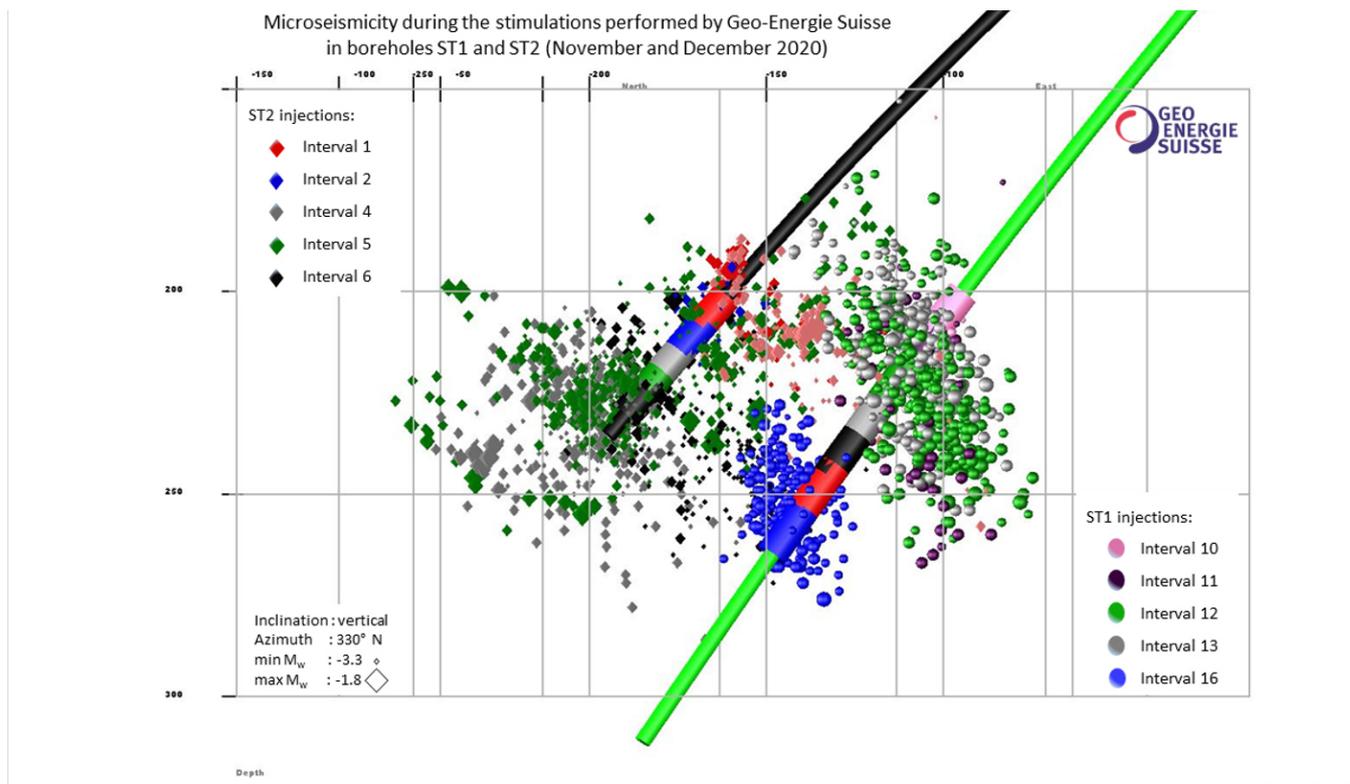


Ein Packer wird ins Bohrloch eingeführt. Ein Packer ist eine aufblasbare Gummimanschette (auf dem Foto sichtbar zwischen den zwei blauen Rohrabschnitten). Damit wird das Bohrloch in einzelne Zonen unterteilt. Packer sind in den Tests Drücken bis 200 bar ausgesetzt. Grafik: Geo-Energie Suisse

rich zeigen, dass wir mit dem Verfahren das Erdbebenrisiko bei Tiefengeothermie-Bohrungen auf ein Minimum reduzieren können», sagt Dr. Peter Meier, CEO von Geo-Energie Suisse.



Packer – in der Darstellung vier schwarze Zylinder – unterteilen das Bohrloch in einzelne Zonen. Der Fels im Umfeld der einzelnen Zonen wird dann mit Wasserinjektionen stimuliert, damit sich Klüfte bilden. So entstehen sogenannte Reservoirs, in denen Wasser zirkulieren und Wärme aufnehmen kann. Grafik: Schweizerischer Erdbebendienst an der ETH Zürich



Bei den Experimenten im Spätherbst 2020 wurden in zwei Bohrlöchern (schwarz und grün) in verschiedenen Zonen des Bohrlochs Stimulationen durchgeführt (die Zonen, hier als 'Intervalle' bezeichnet, sind mit Farben markiert). Dafür wurden zwei Packer in den beiden Bohrlöchern an die gewünschte Stelle verschoben. Die Rauten und Kugeln zeigen die Stellen im Fels, an denen durch die jeweilige Stimulation Mikroseismizität (sehr schwache Erschütterungen) erzeugt wurde, um wie gewünscht Mikrorisse im Granitgestein hervorzurufen. Die Grafik veranschaulicht ein zentrales Ergebnis der bisherigen Tests im Felslabor: Die durch hydraulische Stimulation der verschiedenen Zonen hervorgerufenen Mikrobeben sind räumlich recht klar getrennt. Anders ausgedrückt: Durch den Entscheid, in welcher Zone man den Fels wie stark stimuliert, kann man gezielt beeinflussen, in welcher Felsregion Mikrobeben zur Ausbildung von Reservoiren hervorgerufen werden. Grafik: Geo-Energie Suisse

### Stimulierung in isolierten Zonen des Bohrlochs

Die Grundidee des neuen Ansatzes: Wurde in Basel bei der Wasserinjektion der gesamte untere Teil des Bohrlochs unter Druck gesetzt, wird das Bohrloch beim neuen Verfahren mit Gummimanschetten («Packern») in mehrere Etappen («Zonen») unterteilt. In jeder Zone kann nun unabhängig ein Reservoir stimuliert werden, wobei die Wasserinjektionen räumlich und zeitlich gestaffelt erfolgen. Die Methode erlaubt, in jedem Felsabschnitt Mikrobeben exakt in jener Stärke zu stimulieren, wie sie für die Entstehung eines Reservoirs nötig sind. Möglicherweise kritische Zonen können so frühzeitig erkannt werden. Unkontrolliert starke Erdbeben sollen sich damit vermeiden lassen.

Um die Methode der «isolierten Zonen» zu testen, wurden im Bedretto-Felslabor zwei Packer im Abstand von 6,5 m im Bohrloch platziert und der Fels dazwischen stimuliert. Indem die zwei Packer im Bohrloch verschoben wurden, konnten

die Stimulationen an verschiedenen Stellen innerhalb des Bohrlochs durchgeführt werden. Bei den Versuchen im Spätherbst 2020 wurden so insgesamt zehn Bohrlochabschnitte stimuliert. Dabei hat sich das Multi-Etappen-Stimulationskonzept bewährt: Gemäss ersten Auswertungen wurde die Wasserdurchlässigkeit im kompakten Rotondogranit um den Faktor 10 bis 100 erhöht. «Obwohl wir deutlich geringere Wassermengen injiziert haben als in Basel, weisen die von uns geschaffenen Reservoirs die für eine wirtschaftliche Wärmenutzung erforderliche Durchlässigkeit auf», sagt Hydrogeologe Meier. Die für die Rissbildung notwendigen Mikrobeben (Mikroseismizität) hatten eine Stärke von maximal  $-1.8 M_w$  auf der Richterskala. Die Erde bebte damit etwa hunderttausendmal schwächer als beim grössten Beben beim Geothermieprojekt in Basel (Magnitude von 3.4). Peter Meier zieht folgendes Fazit: «Mit diesen Ergebnissen rückt die Nutzung der petrothermalen Tiefengeothermie in greifbare Nähe.»



Dr. Marian Hertrich, Leiter des BFE-Projekts, im Gespräch mit einem wissenschaftlichen Mitarbeiter. Foto: Werner Siemens-Stiftung, 2019/Felix Wey Zürich, 2019

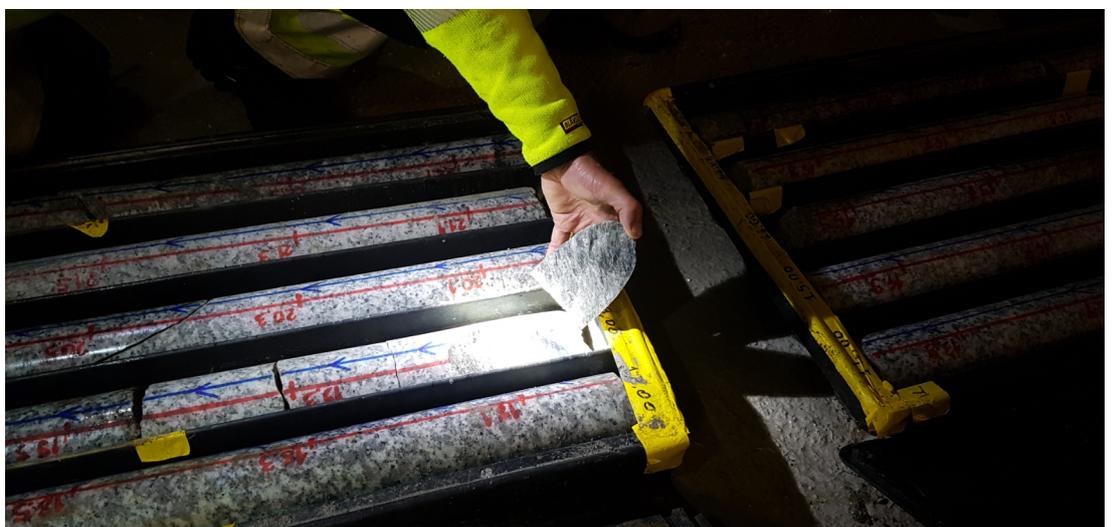
### Umfassendes Messprogramm der ETH Zürich

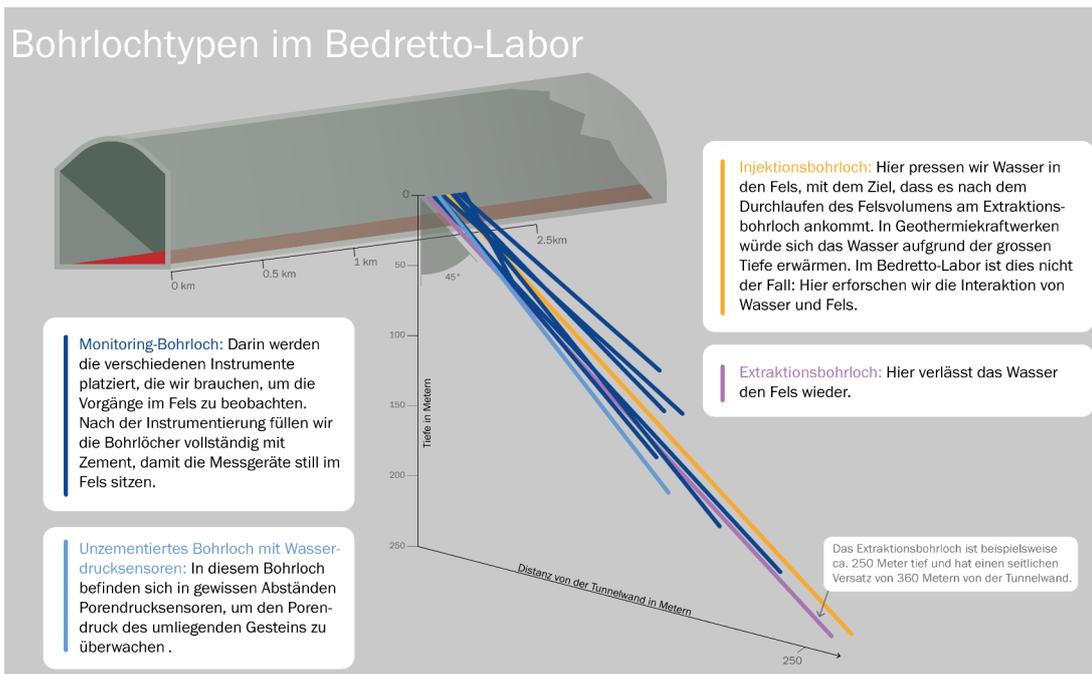
Im Frühjahr 2021 ist im Bedretto-Labor eine weitere Testreihe geplant. In einem 400 m langen Bohrloch werden mit Packern dann insgesamt zehn Zonen von jeweils 10 bis 20 m Länge geschaffen, die einzeln oder in verschiedenen Kombinationen stimuliert wurden. Bei der Testreihe wird das Volumen des eingepressten Wassers erhöht, um die Reservoirs auszuweiten. Wie bei der ersten Testreihe im Herbst 2020 werden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der ETH Zürich die Versuche mit einem umfangreichen Messprogramm begleiten. Viele Detailfragen sind nämlich noch offen und müssen weiter erforscht werden: Dichten die Packer die Zonen gut ab, und dies auch langfristig? Wie viel Wärme kann den künstlich geschaffenen Reservoirs entnommen werden? Wie lassen sich die Durchflussraten steuern? Wel-

che chemischen Prozesse laufen im Fels ab? Können die Reservoirs allenfalls als saisonale Wärmespeicher vom Sommer in den Winter genutzt werden?

Die ETH Zürich verfügt über Expertise bei sehr empfindlichen Schallmessungen. Ihre Messgeräte registrieren Erschütterungen, die zehn Millionen mal kleiner als ein spürbares Erdbeben sind. Auf der Basis solcher Messungen haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein Verfahren zur Vorhersage der Seismizität entwickelt, das in der aktuellen Versuchsreihe erfolgreich eingesetzt wurde. Dazu messen die Forschenden geringste Erschütterungen im Gestein, die als Vorboten von grösseren Erschütterungen gelten. «Unser Verfahren erlaubt, Felszonen zu erkennen, in denen im Fall einer Stimulation schwere Erschütterungen drohen und die daher

Die Bohrkerns liefern den Forschenden wichtige Anhaltspunkte zur mineralogischen Zusammensetzung und den Eigenschaften des Gesteins im Gebiet des Reservoirs, dessen Wärme energetisch genutzt werden soll. Foto: Schweizerischer Erdbebendienst an der ETH





Schematische Darstellung der verschiedenen Bohrungen im Bedretto-Felslabor. Grafik: Schweizerischer Erbebedienst an der ETH Zürich.

nicht stimuliert werden dürfen», sagt Dr. Marian Hertrich, der das Forschungsteam der ETH Zürich leitet.

### Pilotprojekt in Haute-Sorne

Nach den positiven Erfahrungen im Bedretto-Felslabor will Geo-Energie Suisse das Multi-Etappen-Stimulationskonzept noch im laufenden Jahr an einem Versuchsstandort im US-Bundesstaat Utah überprüfen. Dort herrschen – anders als im Bedretto-Felslabor – die für die petrothermale Geothermie erforderlichen Temperaturen von über 100 °C. Das nächste Etappenziel in der Schweiz ist für Geo-Energie Suisse eine Erkundungsbohrung am Pilotstandort Haute-Sorne im Kanton Jura. Dort ist eine Pilotanlage geplant, die mit einer Leistung von fünf Megawatt Strom für 6000 Haushalte liefern würde. Die Anlage stiess im Standortkanton bisher auf Widerstand. Die neuen Ergebnisse aus dem Bedretto-Felslabor könnten helfen, die Akzeptanz der Bevölkerung für die Nutzung der Wärme aus tiefen Erdregionen zu fördern.

- Weitere Auskünfte zum **Felslabor** der ETH Zürich: [www.bedrettolab.ethz.ch](http://www.bedrettolab.ethz.ch)
- Der **Schlussbericht** zum Demonstrationsprojekt «Validierung von Technologien zur Reservoientwicklung» ist voraussichtlich ab Sommer 2021 abrufbar unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=38726>

- **Auskünfte** zu dem Projekt erteilen Céline Weber ([cweber@atlfocus-e.ch](mailto:cweber@atlfocus-e.ch)), Leiterin des BFE-Forschungsprogramms Geoenergie, und Dr. Men Wirz ([men.wirz@atlbfe.admin.ch](mailto:men.wirz@atlbfe.admin.ch)), verantwortlich für das Pilot- und Demonstrationsprogramm des BFE.

- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Geothermie unter [www.bfe.admin.ch/ec-geothermie](http://www.bfe.admin.ch/ec-geothermie).

## P+D-PROJEKTE DES BFE

Das Projekt zur Erforschung der Reservoirstimulation im Bedretto-Felslabor wurde vom Pilot- und Demonstrationsprogramm des Bundesamts für Energie (BFE) unterstützt. Damit fördert das BFE die Entwicklung und Erprobung von innovativen Technologien, Lösungen und Ansätzen, die einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz oder der Nutzung erneuerbarer Energien leisten. Gesuche um Finanzhilfe können jederzeit eingereicht werden.

- [www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration](http://www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration)