

Abschlussbericht – GEOBEST- CH2

Other Publication**Author(s):**

Kraft, Toni ; Wiemer, Stefan 

Publication date:

2019-11

Permanent link:

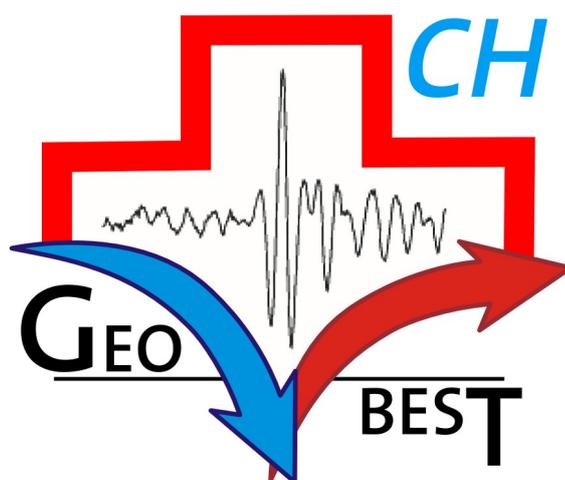
<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000426630>

Rights / license:

[Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International](#)

Abschlussbericht, 25. November 2019

GEOBEST-CH2



energieschweiz
Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Dr. Toni Kraft, Schweizerischer Erdbebendienst, ETH Zürich

Prof. Stefan Wiemer, Schweizerischer Erdbebendienst, ETH Zürich

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.

Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern

Infoline 0848 444 444. www.energieschweiz.ch/beratung

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Inhalt

1 Ziel des Projektes.....	4
2 Durchgeführte Arbeiten.....	6
2.1 Überwachung Deep Underground Lab Bedretto.....	6
2.2 Überwachung Region Eglisau.....	7
2.3 Bohrlochseismometer Geothermieprojekt Pohang, S-Korea.....	8
2.4 Geothermieprojekt Vinzel/VD.....	9
2.5 Geothermieprojekt Yverdon-les-Bains/VD.....	11
2.6 Beratung des Kanton Basel-Stadt und Überwachung Tiefbohrung Basel-1.....	12
2.7 Geothermie 2020 Genf.....	14
2.8 Projekt AGEPP – Lavey-les-Bains.....	16
2.9 Stellungnahme zum Gutachten der GeoEnergie Suisse AG zum M5.5 Erdbeben in Pohang für den Kanton Jura.....	18
2.10 Good Practice Guideline.....	18
2.11 Durchführung des 3. Schatzalp Workshops.....	20
3 Referenzen.....	20

1 Ziel des Projektes

Die Tiefengeothermie ist eine vielversprechende Technologie zur grundlastfähigen, CO₂-armen Stromerzeugung. In der Schweiz und im europäischen Ausland ist das Interesse daher gross, dieses Verfahren zur importunabhängigen Strom- und Wärmeversorgung von Gemeinden und Betrieben zu nutzen. Die Zahl der Machbarkeitsstudien, die in den letzten Jahren in der Schweiz zu diesem Thema durchgeführt wurden, ist beträchtlich.

Der SED will dazu beitragen, über kantonale Grenzen hinweg einheitliche Qualitätsstandards im Umgang mit seismologischen Fragen bei Genehmigungsverfahren und der Durchführung von Tiefengeothermieprojekten zu etablieren. Im Rahmen des von EnergieSchweiz geförderten Projektes GEOBEST-CH bietet der SED deshalb nationalen, kantonalen und lokalen Aufsichtsbehörden kompetente und projektbegleitende seismologischen Beratung und Überwachung an. Dienstleistungen für die Industrie werden nur dann übernommen, wenn sie die Unabhängigkeit des SED nicht einschränken.

Im Rahmen von GEOBEST-CH bietet der SED folgende Dienstleistungen an:

Seismologische Überwachung

Nur mit Hilfe einer fachgerechten seismologischen Überwachung kann die seismische Reaktion des Untergrundes auf einen geotechnischen Eingriff frühzeitig erkannt werden und nur dann können geeignete Massnahmen zu Abminderung dieser Reaktion ergreifen werden. GEOBEST-CH verfügt über einen Pool von Oberflächen- und Bohrlochseismometern, die es dem SED ermöglichen, ausgewählte Projekte aktiv bei dieser wichtigen Aufgabe zu unterstützen. Der SED kann so ohne grosse Zusatzkosten für die Kantone beziehungsweise Betreiber seine Fachkompetenz und Erfahrung in den Bereichen Netzwerkplanung und -betrieb, Echtzeit-Erdbebenanalyse und automatische Alarmierung relevanter Behörden und Interessensgruppen in optimaler Weise einbringen. Gleichzeitig lässt sich damit vermeiden, dass eine seismische Überwachung aufgrund vom Kostendruck oder mangelnder Kompetenz nur unzureichend betrieben wird.

Unterstützung von Kantons- und Bundesstellen

Der SED verfügt über eine international anerkannte Expertise im Bereich der seismologischen Forschung und Überwachung. Er unterhält eine Arbeitsgruppe, die sich speziell mit wissenschaftlichen und angewandten Fragen zur induzierten Seismizität beschäftigt. GEOBEST-CH ermöglicht es dem SED, diese Expertise kantonalen und nationalen Aufsichtsbehörden zur Verfügung zu stellen, denen diese derzeit oftmals noch fehlt. Der SED kann sie so bei der Begutachtung seismologischer Fragen im Rahmen der Bewilligung, des Baus und des Betriebs von Tiefengeothermieprojekten beraten und unterstützen.

Qualitätssicherung

Der SED trägt mit GEOBEST-CH zur Qualitätssicherung im Bereich der Überwachung und Risikoabschätzung von Tiefengeothermieprojekten bei. Insbesondere wird eine Homogenisierung im Umgang mit seismologischen Fragen im Kontext der Umweltverträglichkeitsprüfung über die Kantonsgrenzen hinweg angestrebt. Diese soll es künftig auch kommerziellen Anbieter ermöglichen, qualitativ hochwertige Produkte anzubieten, die möglicherweise zertifiziert werden können.

Neutrale und kompetente Information

Die unabhängige und objektive Information aller Interessensgruppen ist essentiell für einen offenen Risikodialog zum Thema „Tiefengeothermie und induzierte Erdbeben“. Im Rahmen von GEOBEST-CH leistet der SED wichtige Beiträge hierzu. Zum einen erstellt er neutrale und verlässliche Hintergrundinformationen zu allen Aspekten des Themas und veröffentlicht diese in den drei Amtssprachen auf seiner Webseite. Zum andern informiert er während der Durchführung eines GEOBEST-CH-begleiteten Tiefengeothermieprojektes echtzeitnah über beobachtete Erdbeben und deren Interpretation. BürgerInnen können ihre Beobachtungen zu einem Erdbeben online mitteilen.

Wissens- und Technologietransfer

Die Mechanismen, die zur induzierten Seismizität in der Tiefengeothermie führen, sind nur in den Grundzügen verstanden. Im Besonderen sind derzeit keine verlässlichen Methoden bekannt, um induzierte Erdbeben unakzeptabler Stärke sicher vorherzusagen oder gar zu verhindern. Eine Intensivierung der Zusammenarbeit und des Austausches zwischen Wissenschaft und Industrie ist daher auf internationaler Ebene notwendig, um geeignete Lösungen zu entwickeln. GEOBEST-CH sieht vor, nationale und internationale Workshops zum Thema induzierte Seismizität durchzuführen, um den Wissens- und Technologietransfer zwischen Wissenschaft, Industrie sowie den lokalen Interessengruppen anzuregen und sicherzustellen.

Aus- und Weiterbildung

Der SED leistet dank seiner engen Anbindung an die ETH Zürich im Rahmen von Vorlesungen und Nachdiplomkursen einen wesentlichen Beitrag zur Aus- und Weiterbildung im Bereich der Tiefengeothermie. Im Rahmen von GEOBEST-CH können an der ETH Bachelor- und Masterarbeiten zum Thema induzierte Erdbeben betreut werden. Idealerweise geschieht dies in Zusammenarbeit mit Betreibern der vom SED im Rahmen von GEOBEST-CH begleiteten Projekte und den beteiligten kantonalen oder nationalen Stellen.

2 Durchgeführte Arbeiten

2.1 Überwachung Deep-Underground-Lab Bedretto

Für die seismologische Überwachung des zukünftigen Bedretto-Experiments des SCCER-SoE wurden Stationsstandorte am Nufenenpass (TI/VS; BET02) und oberhalb von Airolo (TI) (BET01) vorkundet. Die Umsetzung der Standorte wurde an das SCCER-Team übergeben und durch einen GEOBEST-Techniker begleitet. Die Überwachung des Bedretto-Projektes liegt fortan in der Verantwortung des SCCER-Team und wird als Teil der SED Routine-Auswertung durchgeführt.

Die Station GSF03 im Fort Gallen am Frukapass wird als Teil des Bedretto-Projektes weiterbetrieben. Die Brennstoffzelle die aus dem Projekt-GEOBEST beschafft wurde und bisher für die Stromversorgung eingesetzt wurde, war im Winter 2017/2018 ausgefallen. Die Kernzelle des Gerätes war wegen der langen Betriebs seit 2015 wartungsbedürftig und musste überholt werden. Dies ist im Sommer 2018 durchgeführt worden, nach dem der Standort nach der Wintersperre des Furka wieder erreicht werden konnte.

Abbildung 1: Geplantes Überwachungsnetz des Bedretto Deep Underground Lab Experiments.



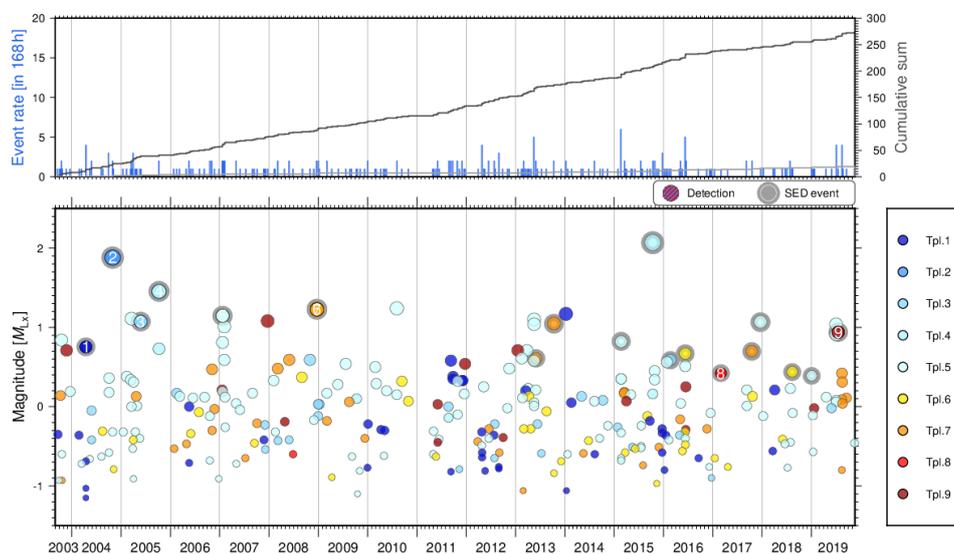
Durch den Besitzerwechsel des Fort Gallen von ArmaSuisse an die Gemeinde Obergoms, hat sich der Vertragspartner für den SED geändert. Dadurch war auch die Umsetzung der von Anfang an geplanten Solar-Lösung für die Stromversorgung möglich und wurde im Spätsommer 2018 durch den GEOBEST-Techniker umgesetzt.

2.2 Überwachung Region Eglisau

Die Überwachung der Region Eglisau wurde im Berichtszeitraum im April 2019 beendet und wird mit anderen Stationen des SED im Rahmen eines Projektes zu Überwachung von zukünftigen Tiefenlagern für radioaktive Abfälle weitergeführt.

Ziel der Überwachung der Region Eglisau war, in einem Gebiet mit geringer seismischer Aktivität Informationen über mögliche seismisch aktive Störungen zu sammeln. In der Vergangenheit (1990er Jahre) waren Erdbeben der Magnitude ML3 in sehr geringen Tiefen in der Region aufgetreten. Die Überwachung sollte mit Hilfe einer erhöhten Stationsdichte und neuer Detektionsmethoden, eine verbesserte Kenntnis über die Mikroerdbebenaktivität ermöglichen.

Abbildung 2: Ergebnis der Template Matching Analyse für die Region Eglisau an der Station FLACH. Zwischen 2003 und 2019 wurden über 250 Mikroerdbeben mit Magnituden zwischen ML-1.0 und ML2.2 aufgezeichnet. Als Templates wurden die 9 bekannten Erdbeben des SED Kataloges verwendet, die seit 2003 in der Region aufgetreten waren.



Der TM-Scan an der Station FLACH konnte, für den Zeitraum seit 2003, über 250 Mikroerdbeben detektieren, die sich den bekannten 9 Erdbeben des SED-Kataloges zuordnen lassen. Leider konnte keines der neu detektierten Beben mit sehr guter Genauigkeit lokalisiert werden. Die Relativlokalisierung der besten der detektierten Erdbeben deutet eine ENE-WSW streichenden Struktur an. Die Unsicherheiten der Lokalisierung sind jedoch noch zu gross, um verlässlichen Schlüsse ziehen zu können (Diehl et al., 2019)

Fazit: In Regionen mit geringen seismischer Aktivität, können auch mit verdichteten Netzen und modernen Detektionsmethoden, in kurzen Beobachtungszeiträumen von wenigen Jahren, keine ausreichenden seismotektonische Informationen gewonnen werden. Hierfür sind Zeiträume von mindestens 10 Jahren oder mehr nötig.

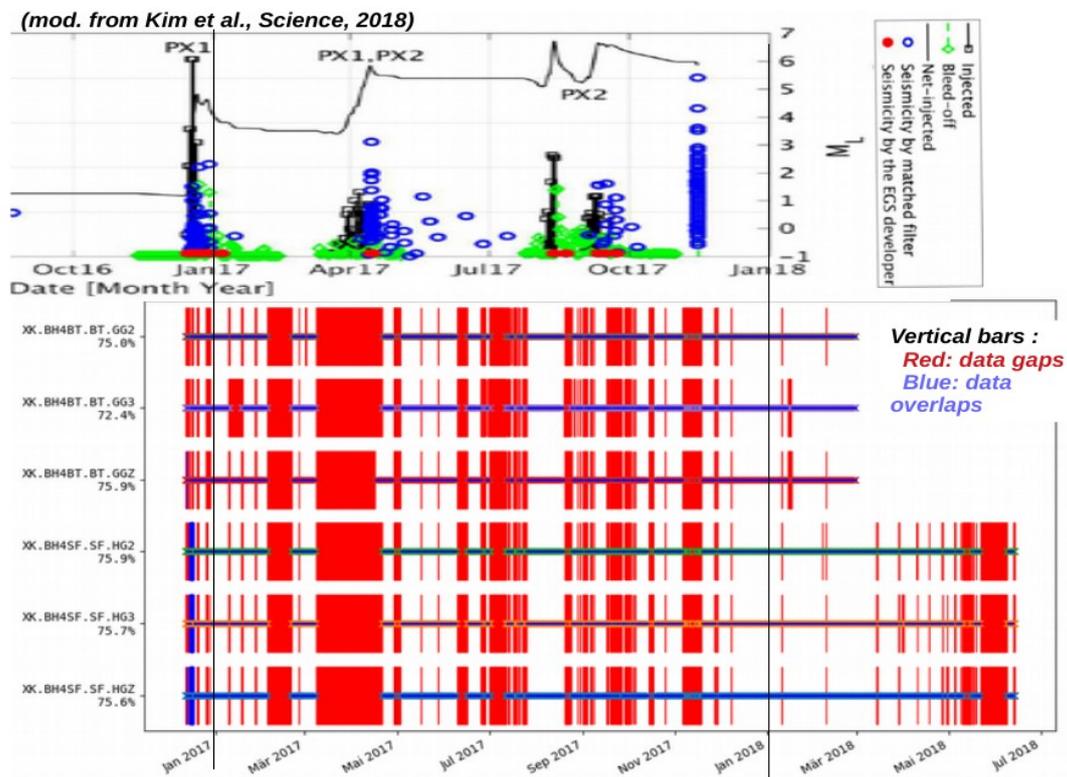
Für Geothermieprojekte bedeutet dies, dass mit Kurzzeitmessungen keine ausreichenden Kenntnisse über die Hintergrundseizmität gewonnen werden können. Die seismische Überwachung sollte trotzdem mind. 6 Monate vor Beginn von kritischen Projektphasen (Bohrung erreicht den Zielhorizont, hydraulische / chemische Stimulationen und Tests, etc.) in Betrieb gehen, um die reibungslose Funktion des Systems sicherzustellen.

2.3 Bohrlochseismometer Geothermieprojekt Pohang, S-Korea

Das seismischen Überwachungsgeräte für das Geothermieprojekt in Pohang, S-Korea, wurde durch GeoEnergie Suisse AG im August 2018 abgebaut und nach Zürich zurückgebracht. Die Überprüfung der Instrumente ergab, dass das Bohrlochseismometer defekt und nicht reparabel ist, der Digitizer war zwar defekt konnte aber wieder in Gang gesetzt werden.

Der Verleih der Instrumente an, im Betrieb von seismischen Stationen unerfahrene, Dritte hat zu erhebliche Problemen bei der Datenqualität und -vollständigkeit geführt. Aufgrund der Initiative des SED, die Daten der Station zusätzlich zur lokalen Aufzeichnung durch KIGAM in S-Korea auch nach Zürich zu übertragen und im SED-Archiv zu speichern, konnte zumindest ein Teil der Daten gesichert werden.

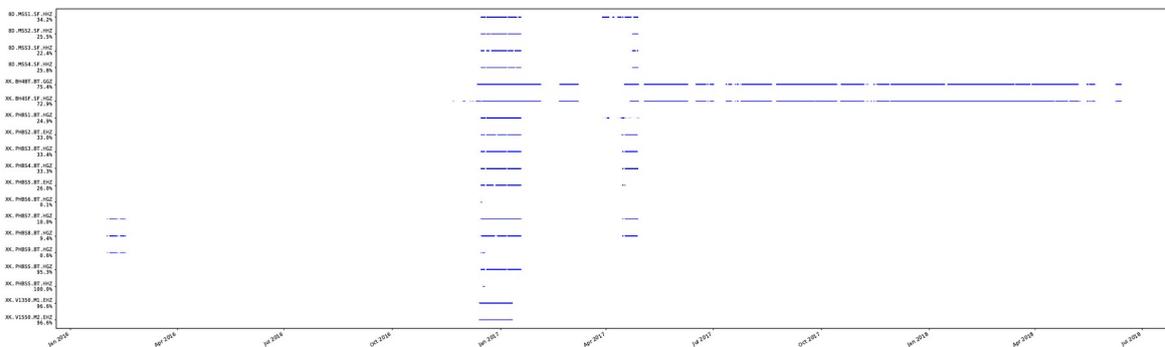
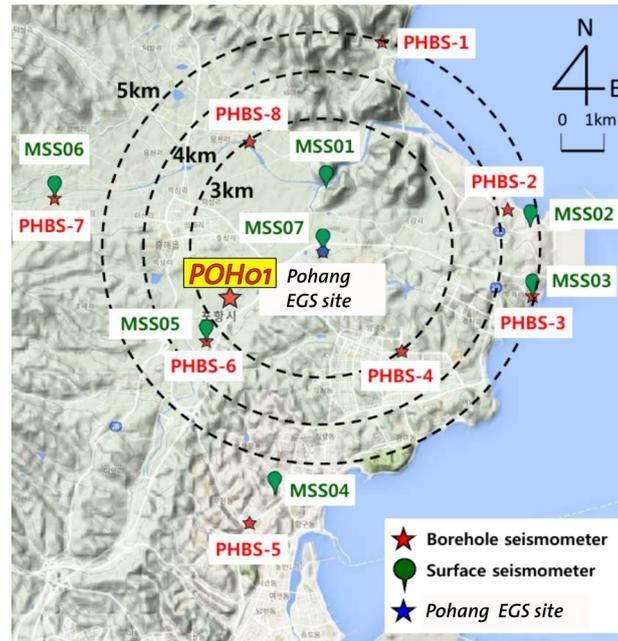
Abbildung 3: Unten: Übersicht über die Datenverfügbarkeit der Station KR.BH4SF (Oberfläche) und KR BH4BT (Bohrloch). Oben ist die Injektions- und Seismizitätsgeschichte des Geothermieprojektes dargestellt.



Dramatisch ist die schlecht Informationslage bezüglich der Metadaten der Stationen. So konnte der genauen Verlaufes der Bohrloches, in das der Bohrlochsensor in 2,1 km Tiefe eingebaut wurde, nicht in Erfahrung gebracht werden. Aufgrund dieser Situation ist die Verwendung des Sensors zur Lokalisierung der Erdbeben in der Umgebung der Geothermieanlage nicht möglich und die Seismogramme der aufgezeichneten Beben können nur zur unabhängigen Verifikation der Kataloge des Oberflächennetzes der koreanischen Kollegen dienen.

Sämtliche Daten, die von den beiden GEOBEST-Geräten aufgezeichnet wurden (Abb. 3) sind im SED-Datenarchiv abgelegt und können für zukünftige weiterführende Analysen verwendet werden soweit es die Datenqualität erlaubt.

Im Rahmen der Aufarbeitung der Geschehnisse in Pohang wurden von GeoEnergie Suisse AG weitere Daten von koreanischen Netzwerken zur Verfügung gestellt. Für diese Daten wurde unter grossem Aufwand Metadaten zusammengestellt und ein Konvertierung nach miniSEED durchgeführt. Die Daten decken leider nur kurze Zeiträume um die hydraulischen Stimulationen im Pohang Projekt ab. Die Daten wurden im SED Datenarchiv abgelegt und stehen für weitere interne Untersuchungen zur Verfügung.



2.4 Geothermieprojekt Vinzel/VD

Der SED hat im Auftrag des Kanton Waadt eine GRID-Bewertung des geplanten Geothermieprojektes Vinzel des Betreibers Energo-O in der Regio La Cote durchgeführt. Das Projekt wurde, wie in den «Best-Practice Guidelines zum Umgang mit induzierte Seismizität in der Tiefengeothermie» (Wiemer et al., 2017) empfohlen, von drei Parteien (Kanton Waadt, Projekt Geologe, SED) unabhängig bewertet. Anschliessend wurde die Ergebnisse verglichen.

Alle Parteien gelangen zu sehr ähnlichen Ergebnissen mit minimalen Abweichungen (Abb. 3). Demnach wird das Projekt in der GRID-Kategorie II eingestuft. Der Kanton und die Betreiber haben sich daher darauf verständigt, die Empfehlungen des Best-Practice Guidelines für diese Kategorie im Projekt umzusetzen.

Abbildung 4: Ergebnisse der GRID-Bewertung des Projektes Vinzel.

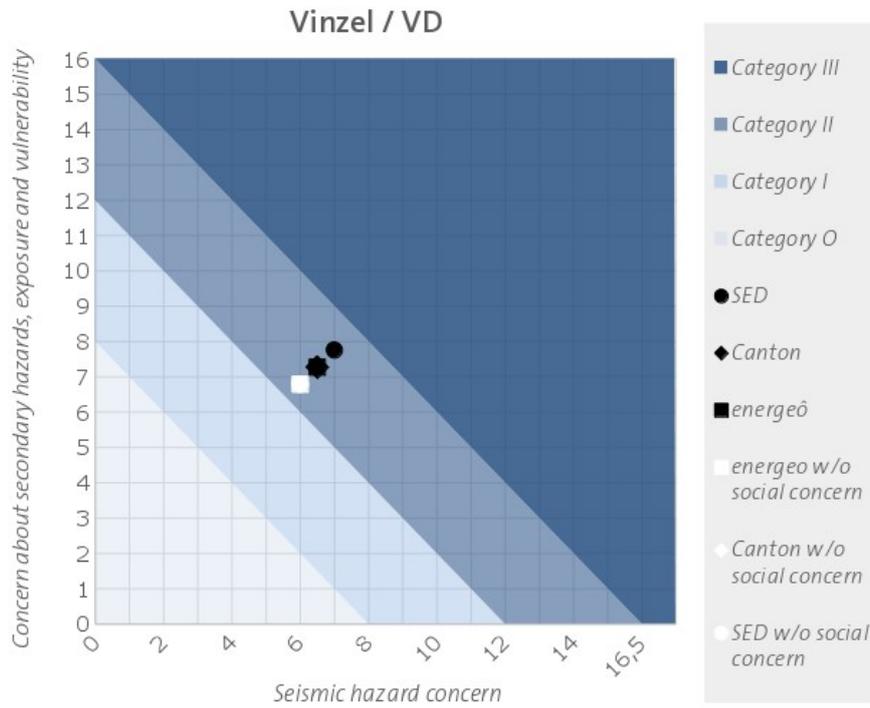
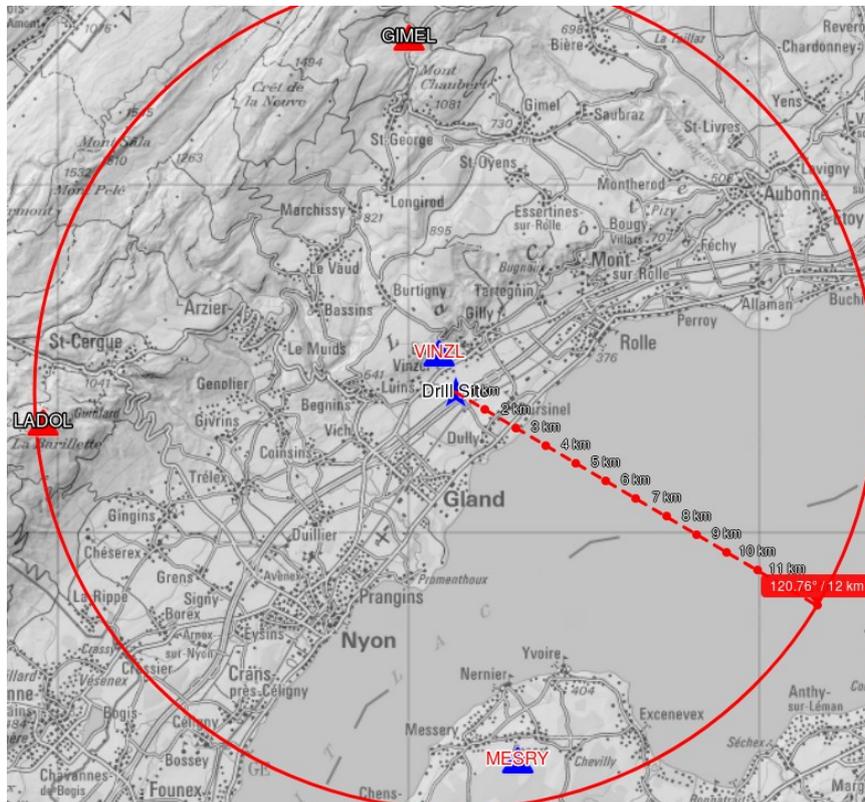


Abbildung 5: Karte des Überwachungsnetzes für das Geothermieprojekt Vinzel. Die Stationen CH.LADOL und CH.GIMEL sind teil des SED Netzwerks, die Stationen CH.VINZL und CH.MESRY wurden neu erstellt werden.



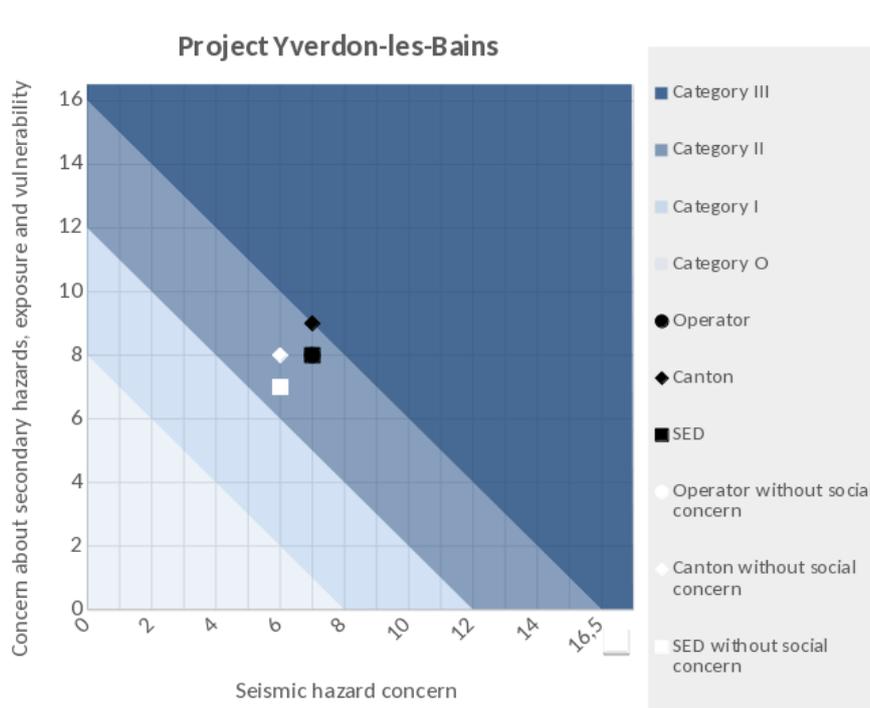
Der SED hat auf Anfrage von Energie-O ein Überwachungsnetz geplant, das aus vier Stationen besteht. Zwei Stationen des SED-Netzwerkes können dabei mitgenutzt werden, so dass nur zwei zusätzliche Stationen für die Überwachung neu aufgebaut werden mussten. Eine dieser Stationen wurde aus dem GEOBEST-Pool zur Verfügung gestellt (CH.VINZL). Die verbleibende Station wurde von Energie-O finanziert und auf der französischen Seite des Genfersee installiert (CH.MESRY; Abb. 4).

Die vorgeschlagene Variante zeigt deutlich den Vorteil einer offenen Datenpolitik bei der seismischen Überwachung von Tiefengeothermieprojekten. Durch die gemeinsame Nutzung von Überwachungsstationen aus verschiedenen Projekten führt zu erheblichen Kostenersparnissen für die Betreiber, da die Kosten für Betrieb und Wartung einzelner Stationen auf mehrere Parteien verteilt werden können. Beim vorliegenden Projekt ist es so möglich, dass zwei Geothermieprojekte (Geothermie2020, Genf/GE und Energie-O, Vinzel/VD) von der SED-Station LADOL profitieren, die Anfang 2019 auf dem La Dole errichtet wurde. Bei der Auswertung stärkeren seismischen Ereignissen profitieren die Projekte von zusätzlichen Stationen des SED und der Nachbarprojekte.

2.5 Geothermieprojekt Yverdon-les-Bains/VD

Der SED hat im Auftrag des Kantons Waadt eine GRID-Bewertung des geplanten Geothermieprojektes Yverdon-les-Bains des Betreibers Stoll durchgeführt. Das Projekt wurde, wie in den «Best-Practice Guidelines zum Umgang mit induzierter Seismizität in der Tiefengeothermie» (Wiemer et al. 2017) empfohlen, von drei Parteien (Kanton Waadt, Projekt Geologe / Q-con GmbH, SED) unabhängig bewertet. Anschliessend wurden die Ergebnisse verglichen.

Abbildung 6: Ergebnisse der GRID-Bewertung des Projektes Yverdon-les-Bains/VD.



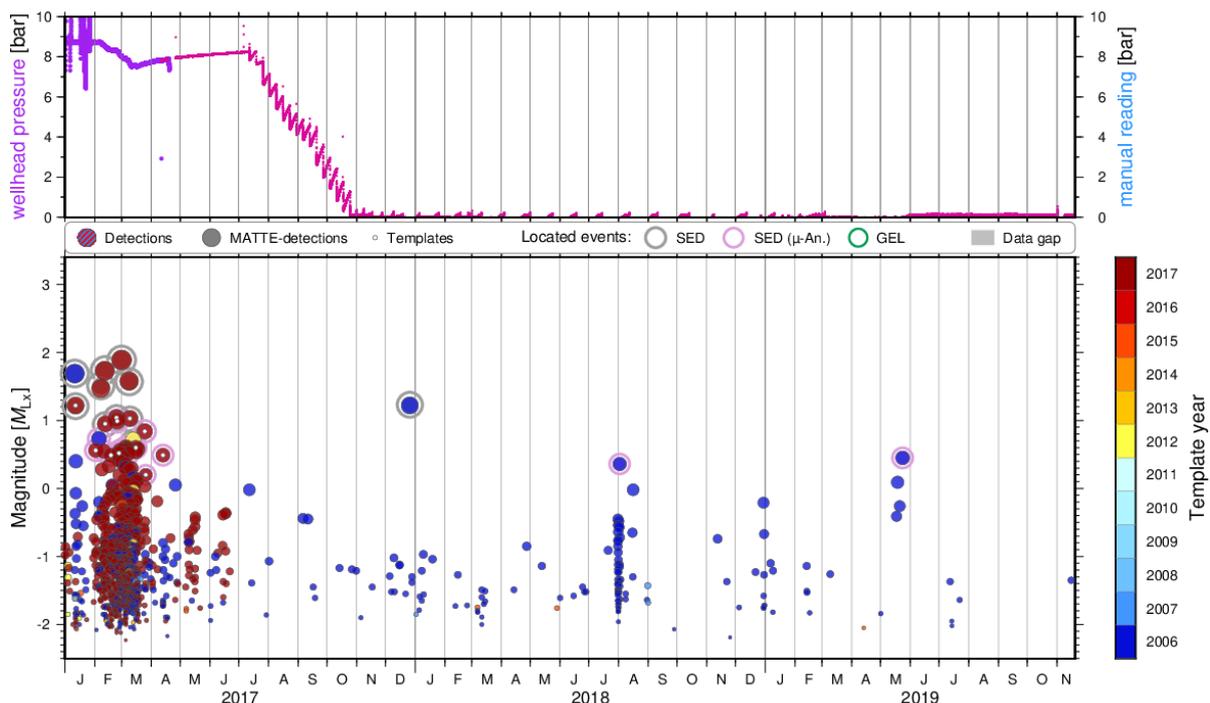
Bei der Bewertung hat sich gezeigt, dass in manchen Kategorien, minimale Abweichungen in der Einschätzung der Eingangsdaten zu starken Abweichungen im Endergebnis führen können. So kommt in Abb. 5 die höhere Bewertung des Secondary Hazard durch den Kanton dadurch zu Stande, dass eine höhere Zahl von Beschäftigten der lokalen Industrie zugrunde gelegt wurde. Aufgrund dieser Einschätzung kommt die GRID-Bewertung des Kanton mit Social Concerns an der Grenze zur Kategorie III zu liegen. Im Allgemeinen stimmen die Bewertungen der drei Parteien jedoch gut überein und haben einen soliden Schwerpunkt in der Kategorie II ergeben.

Die bei der Bewertung aufgezeigte Empfindlichkeit der GRID-Bewertung gegen kleine Änderungen der Eingangsdaten, wird derzeit mit weiteren Testdaten untersucht (siehe Paragraph 2.9). Der vorliegende Fall hat jedoch auch gezeigt, dass eine Bewertung durch drei unabhängige Experten, den Vorteil hat, dass solche Abweichungen erkannt und diskutiert werden können und auf jeden Fall empfehlenswert ist.

2.6 Beratung des Kanton Basel-Stadt und Überwachung Tiefbohrung Basel-1

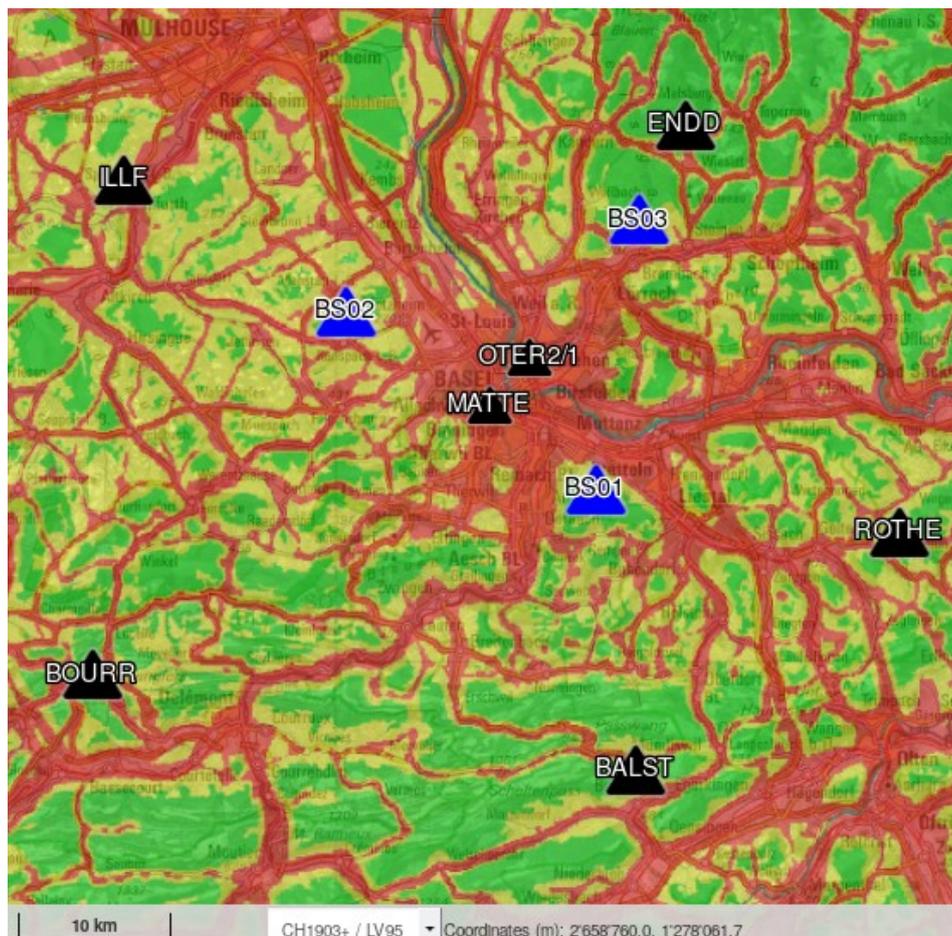
Der SED hat die Seismizität und die hydraulischen Parameter, seit dem vollständigen Druckabbau am Bohrlochkopf der Tiefbohrung Basel-1 im Oktober 2017, weiter überwacht. Dabei wurde der im Rahmen des SIAMIS-GT Projektes (BEF) entwickelte Template-Matching-Detektor täglich auf die kontinuierlichen Daten der Bohrlochstation OTER2 (2.7km Tiefe) angewandt. Die Detektorempfindlichkeit für Erdbeben aus dem Basel-Reservoir ist dadurch mit ca. ML-2.0 sehr hoch (Abb.6).

Abbildung 7: Überwachungsdaten der Tiefbohrung Basel-1 seit 2017. Oben: Bohrlochkopfdruck. Unten: Mit Template-Matching detektierte Mikroerdbeben im Reservoir des ehemaligen Deep Heat Mining Basel Projektes.



Die Seismizität ist seit der erhöhten Aktivität im Feb. - Mär. 2017 stark zurückgegangen und hat sich nach dem Öffnen der Bohrung weiter verringert. Im Dezember 2017 gab es, mit einer Magnitude vom ML1.1, das stärkste Beben seit dem Druckabbau. Die Bohrung steht seit dem Druckabbau offen. Hydraulische Parameter werden am Bohrlochkopf und in 40m Tiefe in Zusammenarbeit mit IWB erfasst. In zunehmenden Abständen (derzeit ca. 1 Monat) kommt es an der Bohrung zu einem, sehr wahrscheinlich gasbetriebenen, Ausfliessen (Cold water geyser), bei dem ca. 20qm in 1-2 Tagen ausfliessen. Danach sinkt der Wasserpegel wieder auf ca. 10m unter Gelände ab und steigt langsam wieder an. Der SED plant die Überwachung der Seismizität weiterzuführen und auch die hydraulischen Parameter, die am Bohrlochkopf von Basel-1 gemessen werden, mit einem GEOBEST-CH Datenlogger weiter aufzeichnen. Neben Temperatur, Druck und Fliessrate am Bohrlochkopf, werden die Wasserstände in der Bohrung und im Auslaufftank mit einer Abtastrate von 5Hz gemessen. Die Daten sollen künftig genutzt werden, um eine bessere Charakterisierung des DHM Reservoirs zu ermöglichen. Die Kosten für die Überwachung werden vom Kanton Basel-Stadt (Bohrlochsensoren) und der Industrielle Werke Basel (IWB; Analyse, Erweiterung des Messnetzes – siehe unten) getragen.

Abbildung 8: Geplantes seismisches Langfrist-Überwachungsnetz für die Tiefbohrung Basel-1 und das weiter Stadtgebiet Basel. Es sind existierenden (schwarz) und geplante (blau) Stationen mit hoher Empfindlichkeit gezeigt.



Der SED hat auf Anfrage des Kanton Basel-Stadt ein Langzeitkonzept zur Überwachung der Tiefbohrung Basel-1 vorgeschlagen. Es wurden mehrere Alternativen vorgestellt und bezüglich ihrer Empfindlichkeit und Kosten bewertet. Dabei hat sich gezeigt, dass durch die Installation von drei neuen Stationen in ruhigen Regionen ausserhalb des Stadtgebietes Basel und den Erhalt der Bohrlochstation MATTE, die Überwachung auf einen sehr hohen Niveau weitergeführt werden kann. Die Lösung hätte zusätzlich den Vorteil, dass die Überwachung vom Bohrloch Basel-1 mit ähnlichem Niveau auf das restliche Stadtgebiet erweitert werden kann. Das hat bei der Unterscheidung von natürlicher und induzierter Seismizität, die sich in den kommenden Jahren zu einer Hauptaufgabe der Überwachung entwickeln wird, sehr grosse Bedeutung.

Der SED hat die Standorte für die drei neuen Stationen erkundet, Testmessungen durchgeführt. Zwei der Standorte konnten ende 2019 festgelegt werden. Die Installation und Inbetriebnahme ist für Januar 2020 terminiert. Am dritten Standort hat die Testmessung ergeben, dass eine Bohrlochstation nötig ist um die vorgegebenen Überwachungsziele zu erreichen. Ein geeigneter Standort wird noch gesucht. Die Überwachung soll spätestens ab dem zweiten Quartal 2019 unabhängig von GEOBEST-CH mit Mitteln der IWB vom SED durchgeführt werden. Entscheidend für die Beauftragung des SED ist das die existierenden Infrastruktur des SED die zur Überwachung, Archivierung, Alarmierung und der unabhängigen Information der Öffentlichkeit genutzt werden kann.

Im Rahmen einer Doktorarbeit, die von GEOBEST-CH2 unterstützt wurde, wurde die Python-Software «seismatch» entwickelt, die anhand bekannter Erdbeben weiter, deutlich kleinere, ähnlichen Erdbeben detektieren kann (<https://gitlab.seismo.ethz.ch/microEQ/TM>). Die Software wird derzeit dazu benützt, die Tiefbohrung Basel-1 zu überwachen. Ausserdem wurde in Rahmen der Doktorarbeit eine Detailanalyse der induzierten Seismizität der letzten 12 Jahre erstellt und in Journal of Geophysical Research publiziert (Herrmann et al., 2019).

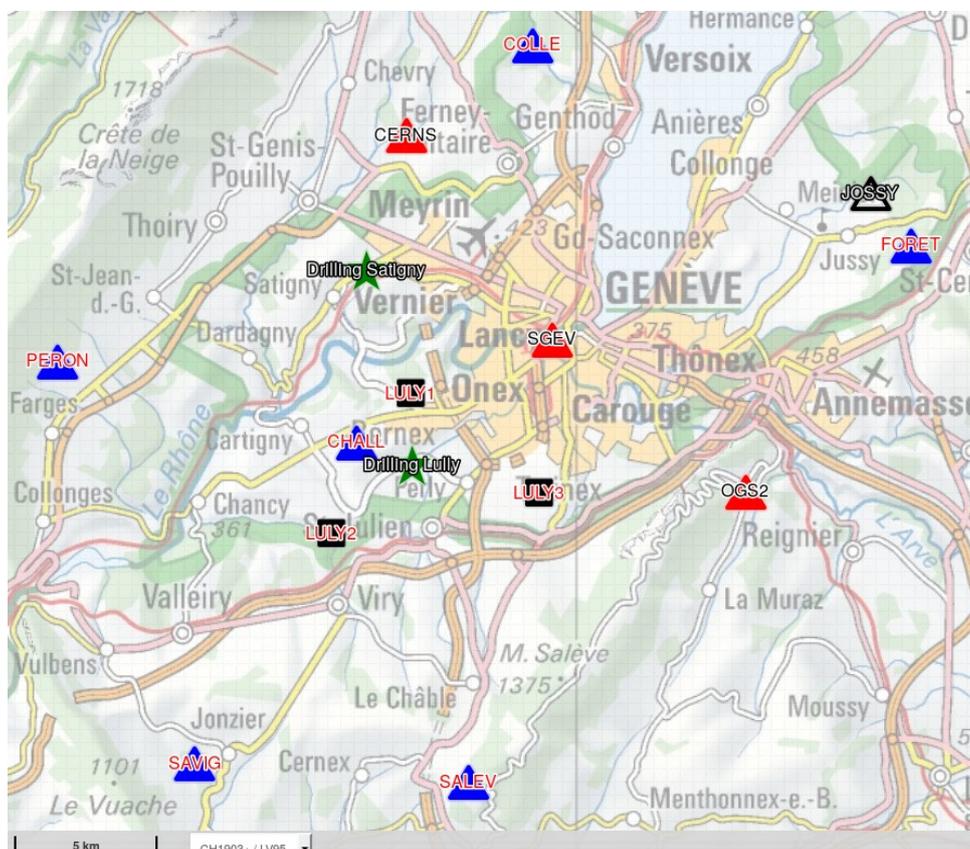
2.7 Geothermie 2020 Genf

Für des Projekt GEOTHERMIE 2020 der Services Industriels de Genève (SIG) wurde weiter Schritte unternommen, um die seismologischen Netzwerk zur Grundüberwachung des Genfer Beckens zu erstellen. Im August 2017 wurden sechs und im November 2017 der letzte Standorte für das seismologische Netzwerk festgelegt werden.

Im Laufe des Projektes hat sich gezeigt, dass die Arbeitsteilung zwischen SIG und SED, die eine auf eine Minimierung der Kosten bewirken sollte, zu komplex war. Es war vorgesehen gewesen, das SIG als Partner vor Ort, die Bewilligungen für die Standorte bei den Eigentümern und den zuständigen Behörden einholt und der SED den Bau der Stationen koordiniert. Bei den Bewilligungen für die Standorte sind jedoch durch verscheide Gründe erhebliche Verzögerungen entstanden und es lagen bis August 2018 keine Ergebnisse vor. Daraufhin haben sich die Parteien geeinigt, die Projektorganisation zu ändern und der SED hat die Aufgabe, Bewilligungen bei Behörden und Eigentümern einzuholen, von SIG übernommen. Ausserdem wurde auch die Koordination des Standortbaus wieder voll auf eine SED-Tecniker übertragen.

Durch die Umorganisation ist es gelungen, an fünf Standorten Nutzungsverträge mit den Eigentümern abzuschliessen. Erhebliche Schwierigkeiten bereiteten die Baubewilligungen durch den Kanton Genf, die mit erheblichem bürokratischem Aufwand eingeholt werden muss. Auf französischer Seite waren diese Bewilligungen sehr unkompliziert, so dass dort alle Standort bereits umgesetzt wurden (SAVIG/F; PERON/F; SALEV,F). Beim Standort COLLE/CH liegt die Baubewilligungen mittlerweile vor und der Bau der Station ist für November 2019 terminiert. Am Standort JOSSY/CH hat der Eigentümer leider seine Nutzungseinwilligung zurückgezogen, so dass ein Alternativstandort gefunden werden musste. Glücklicherweise konnte einer der schon vorkundeten Standorte (FORET/CH) genutzt werden, allerdings muss dort eine Bohrlochstation installiert werden, um die vorgegebenen Überwachungsziele zu erreichen.

Abbildung 9: Überwachungsnetzwerk in der Region Genfer-Becken für das Projekt Geothermie2020. Blaue Dreiecke: SIGnet; Rote Dreiecke: Andere Betreiber (SED, RENASS); Schwarze Quadrate: Mobilstationen (SED/UNIGE); Grüne Sterne: SIG-Explorationsbohrungen seit 2017.



Die Bewilligungen für die Station CHALL/CH und FORET/CH wurden weiter von SIG vorangetrieben, da an diesem Standort eine Bohrlochstation errichtet werden soll und die Bohrung von SIG koordiniert wird. Alle Genehmigungen liegen seit dem Spätsommer 2019 vor und das Abteufen der Bohrungen ist für den November 2019 terminiert. Die Installation der Bohrlochseismometer durch die Firma Lennartz GmbH und die Inbetriebnahme soll spätestens im Januar 2020 erfolgen.

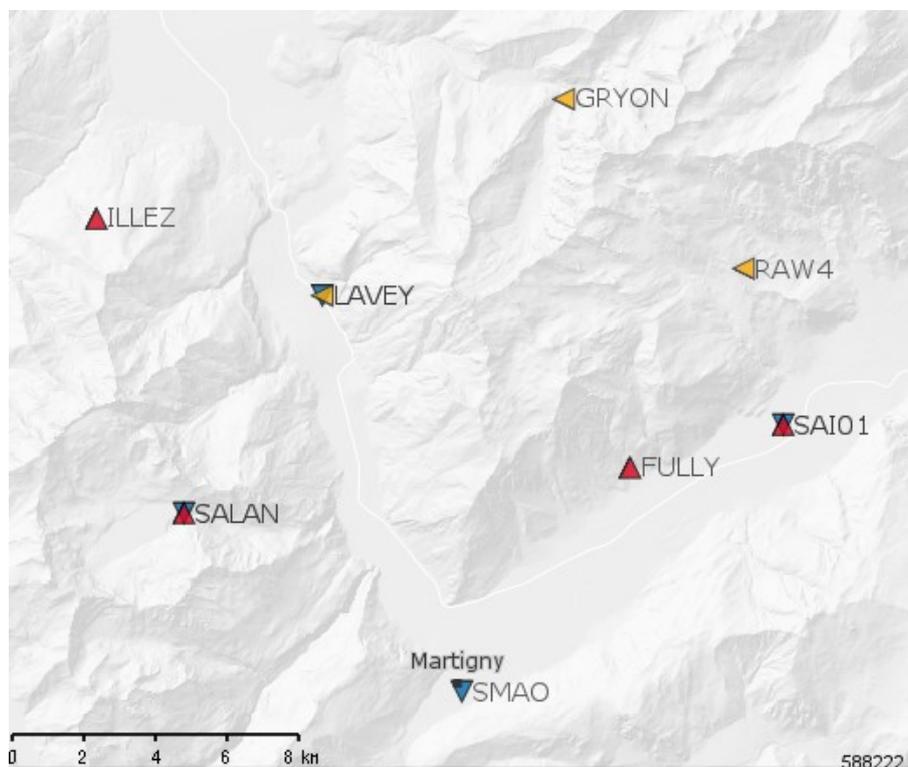
Um die Erkundungsbohrung Lully der SIG (seit Oktober 2019) trotz der oben beschriebenen Verzögerungen durchführen zu können, wurde in Kooperation mit der Universität Genf (UNIGE)

ein mobiles Netz aus drei Stationen um den Bohrstandort Lully errichtet. Die Messinstrumente kommen aus dem von SIG finanzierten Gerätepool der UNIGE. Der SED hat drei Solarboxen mit LTE-Antennen aus dem GEOBEST-Pool bereitgestellt, um die Daten der Stationen in Echtzeit zu übertragen. Die Daten werden am SED in Echtzeit ausgewertet. Ein Alarmsystem versendet automatisch Meldungen an eine Interessensgruppe aus Kanton, wiss. Instituten und Betreiber. Die Erkundungsbohrung Satigny, die SIG im Jahr 2018 durchgeführt hat, wurde leider nicht von GEOBEST überwacht.

2.8 Projekt AGEPP – Lavey-les-Bains

Der SED hat die drei Stationen in der Umgebung des geplanten Geothermieprojektes Lavey-les-Bains installiert. Zwei der Stationen (ILLEZ und FULLY) sind in ca. 5-10km vom Projektstandort entfernt als Oberflächenstationen verwirklicht. Die Station LAVEY besteht aus zwei Komponenten: Einer Oberflächenstation mit Beschleunigungssensor für starke Erschütterungen (bis 2g) und einem Bohrlochseismometer hoher Empfindlichkeit in 170m Tiefe. Die Station ist wenigen Zehnermetern vom geplanten Geothermiestandort entfernt. Die Stationen sind in Abb.10 eingezeichnet. Weiter Stationen des SED vervollständigen das Überwachungsnetz und sorgen für die nötige symmetrische Geometrie zur genauen Erdbebenlokalisierung.

Abbildung 10: Aktives Überwachungsnetz für des Geothermieprojekt Lavey-les-Bains.



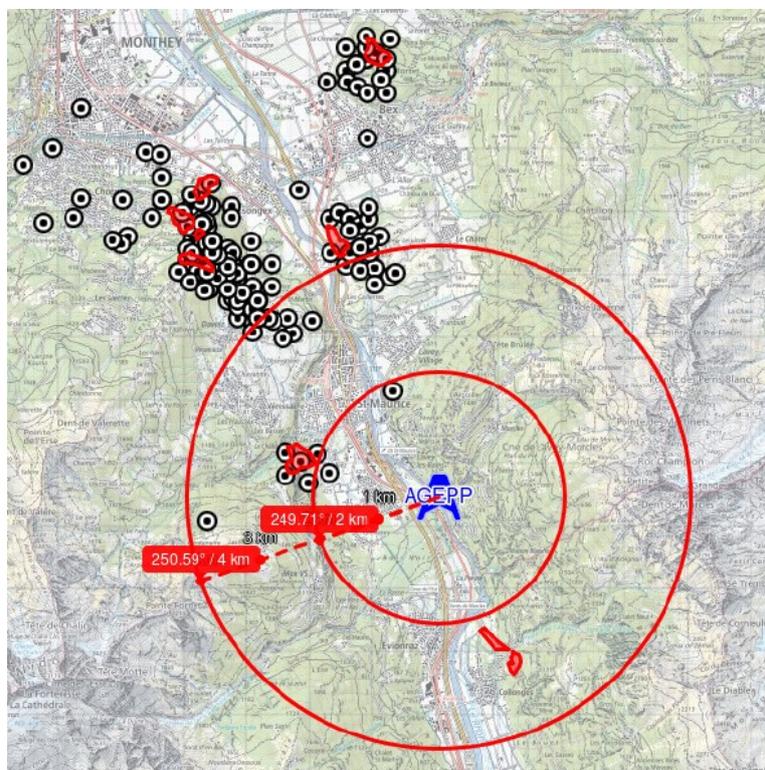
Eine Schwierigkeit bei der Verwirklichung des Bohrlochstandortes war, dass erst beim Bau der Infrastruktur der Oberflächenstation LAVEY.SF bekannt wurde, dass in der Bohrung H₂S vorhanden ist. Nachfrage beim Betreiber der Bohrung ergab, dass dies mit Konzentrationen von bis zu 2.5mg/l aus dem Gestein in die Bohrung eindringt. Damit war klar, dass das im Jahre 2013

für das Projekt Lavey beschaffte Bohrlochseismometer in dieser Bohrung nicht eingesetzt werden kann, da es an einem galvanisierten (verzinkten) Stahlseil hängt. H₂S reagiert sowohl mit dem Zink der Galvanisierung als auch mit dem Stahl des Kabels, wobei diese Stoffe korrodiert werden und elementarer Wasserstoff entsteht. Dieser dringt in das Metallgitter des Stahls ein und macht es extrem spröde. Unter Belastung (z.B. Biegung) brechen die Adern des Stahlkabels dann glasartig. Eine Nachfrage beim Hersteller des Bohrlochkabels ergab, dass diese zwar für wenige Wochen, aber auf keinen Fall für mehrere Monate oder Jahre in der korrosiven Umgebung des Bohrlochs eingesetzt werden darf.

Der SED hat deshalb ein neues Bohrlochseismometer mit Kunststoffkabel beim Hersteller in Neuseeland erworben, das Ende Oktober in Zürich angekommen ist. Das Instrument wird in den nächsten Wochen in der Bohrung P12 des Thermalbades Lavey-les-Bains installiert und in Betrieb genommen.

Für die Überwachung des Geothermieprojektes Lavey-les-Bains hat der SED eine Webseite eingerichtet, auf der die Öffentlichkeit über die Seismizität in der Umgebung des Projektes informiert wird und Hintergrundinformationen dazu erhält. Ausserdem hat er ein Alarmierungssystem eingerichtet, über welches der Kanton und der Betreiber per SMS und E-Mail über Erdbeben im Nahbereich der geplanten Tiefbohrung informiert werden. Beide Produkte werden freigeschaltet sobald die Bohrlochstation in Betrieb ist.

Abbildung 11: Vom SED lokalisierte Steinbruchsprengungen im Umfeld des Geothermieprojektes Lavey-les-Bains. Rote Polygone: aktive Steinbrüche, Rote Kreise: Alarmregionen für Erdbebenmeldungen; Schwarze Punkte: Lokalisierungen der Sprengungen; Blaues Symbol: Standort des Geothermieprojektes AGEPP.



Der SED ist in Zusammenarbeit mit dem Kanton Waadt und AGEPP dabei ein Alarmierungssystem für die Bohr- und Betriebsphase des Geothermieprojektes zu entwerfen.

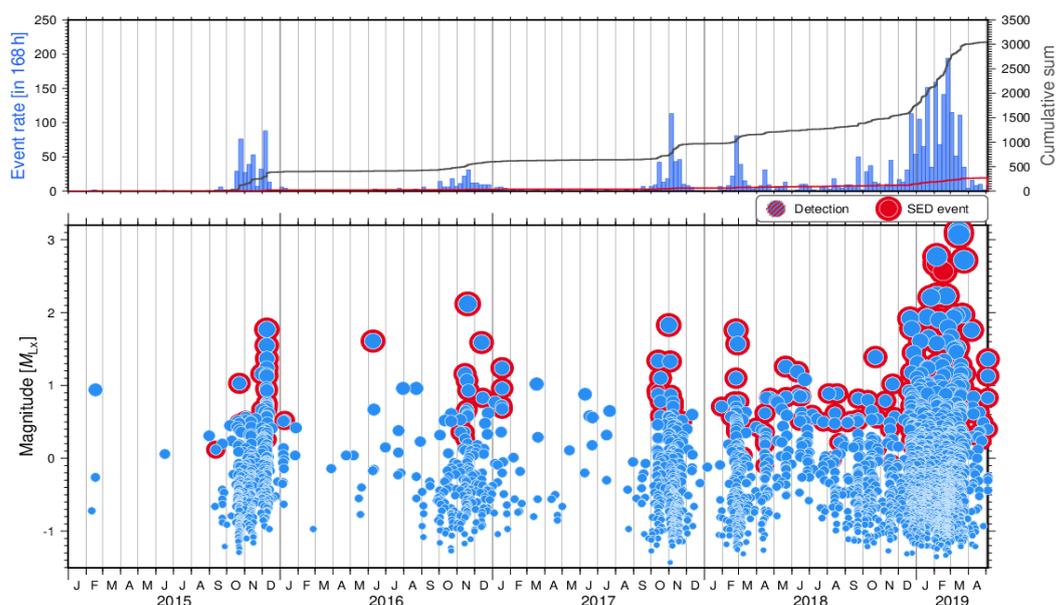
Dabei soll sichergestellt werden, dass für alle detektierten Erdbeben Alarme versendet werden, aber gleichzeitig die Fehlalarmrate minimal gehalten wird. Eine besondere Schwierigkeit bei dem Projekt Lavey besteht darin, dass in unmittelbarer Nähe zum Projekt aktive Steinbrüche vorhanden sind, die regelmässig sprengen (Abb. 11). Diese Signale automatisch zu erkennen ist mit dem Derzeitigen Auswertesystem des SED noch nicht möglich. Daher ist geplant, Ereignisse kleiner Magnituden ($M_L < 1.5$), zu denen die meisten der Sprengungen gehören, erst einer manuellen Auswertung zu unterziehen, bevor ein Alarm verschickt wird. Die Details des Alarmierungsschemas werden Anfang 2020 mit dem Kanton diskutiert.

2.9 Überwachung des Erdbebenschwarmes in der Grandes Jorasses

Im Rahmen des vom BFE geförderten Projektes SIAMIS-GT entwickelt der SED Verfahren der Ähnlichkeitsmasse von Seismogrammen, um bessere und schnellere Resultate bei der Überwachung von induzierten Erdbeben bei Geothermieprojekten zu ermöglichen. Teil des Projektes ist auch natürliche Erdbebenschwärme mit diesen Methoden zu überwachen, da diese sehr ähnlich zu induzierten Erdbebensequenzen sind und viel häufiger auftreten. So kann eine rasche Überprüfung der entwickelten Verfahren erreicht werden.

Im Rahmen von SIAMIS-GT hat der SED drei seismologische Stationen aus dem GEOBEST-Pool in der Mont-Blanc-Region installiert um einen äusserst aktiven Erdbebenschwarm zu überwachen, der im Gebiet der Grande Jorasses, in der Grenzregion Frankreich-Italien-Schweiz, aufgetreten ist. In jedem Land wurde je eine Station installiert und ihre Daten per LTE-Verbindung in Echtzeit nach Zürich übertragen. Ausserdem wurden aller verfügbaren seismologischen Daten aus der Region gesammelt und in die Auswertung mit einbezogen.

Abbildung 12: Vom SED lokalisierte Steinbruchsprengungen im Umfeld des Geothermieprojektes Lavey-les-Bains. Rote Polygone: aktive Steinbrüche; Rote Kreise: Alarmregionen für Erdbebenmeldungen; Schwarze Punkte: Lokalisierungen der Sprengungen; Blaues Symbol: Standort des Geothermieprojektes AGEPP.



Die vorläufige Resultate der Template-Matching-Analyse mit der oben genannten Software «sesimatch» (<https://gitlab.seismo.ethz.ch/microEQ/TM>) legen nahe, dass der Schwarm seit mindestens Oktober 2015 aktive ist und seither hauptsächlich in den Wintermonaten hohe Erdbebenraten zeigt. Diese starke saisonale Variation der Seismizität könnte darauf hindeuten, dass der Erdbebenschwarm durch ein äusseres Phänomen mit ähnlicher Saisonalität getrieben wird. Ein möglicher Kandidat für einen solchen externen Zwang könnten jährliche Schwankungen der Niederschlagsmenge oder der Schnee- bzw. Gletscherschmelze sein (Simon et al., 2019).

Die ersten Ergebnisse der Relokalisierung der Erdbeben deuten an, dass sie auf der Mont-Blanc-Back-Thrust-Verwerfung in geringen Tiefen stattfinden und ein komplexes Migrationsverhalten zeigen. Dies könnte bedeuten, dass bei dem Schwarm ähnlichen Mechanismen wirken, wie sie in der Region Lavey-les-Bains, Val d'Illeiez und St.Gervais-les-Bains für die Tiefenzirkulation von meteorischen Grundwasser postuliert werden (Sonney, 2010).

2.10 Stellungnahme zum Gutachten der GeoEnergie Suisse AG zum M5.5 Erdbeben in Pohang für den Kanton Jura

Auf Anfrage des Kanton Jura hat der SED einen Bericht der GeoEnergie Suisse AG zu dem induzierten M5.5-Erdbeben am Geothermieprojekt in Pohang, S-Korea, begutachtet und eine Stellungnahme dazu abgegeben.

Im November 2017 erschütterte ein Beben der Magnitude 5.5 die südkoreanische Stadt Pohang. Die Bilanz: über 100 Verletzte und Schäden in der Höhe von 300 Millionen Dollar. Bereits kurze Zeit später wurde vermutet, dass ein Geothermieprojekt in der Nähe das Beben ausgelöst haben könnte. Zwei wissenschaftliche Untersuchungen bekräftigten diesen Verdacht. Infolge dessen setzte die koreanische Regierung eine internationale Expertenkommission ein die feststellte, dass das Geothermieprojekt der Verursacher des schadenbringenden Bebens war. Die Expertenkommission untersuchte dafür die tektonischen Spannungsverhältnisse, die lokale Geologie, die induzierte Seismizität, die Bohrdaten sowie jene der hydraulischen Stimulationen. Ausserdem, stellt sich die Expertenkommission die Frage, welche Lehren aus diesem Ereignis zu ziehen sind.

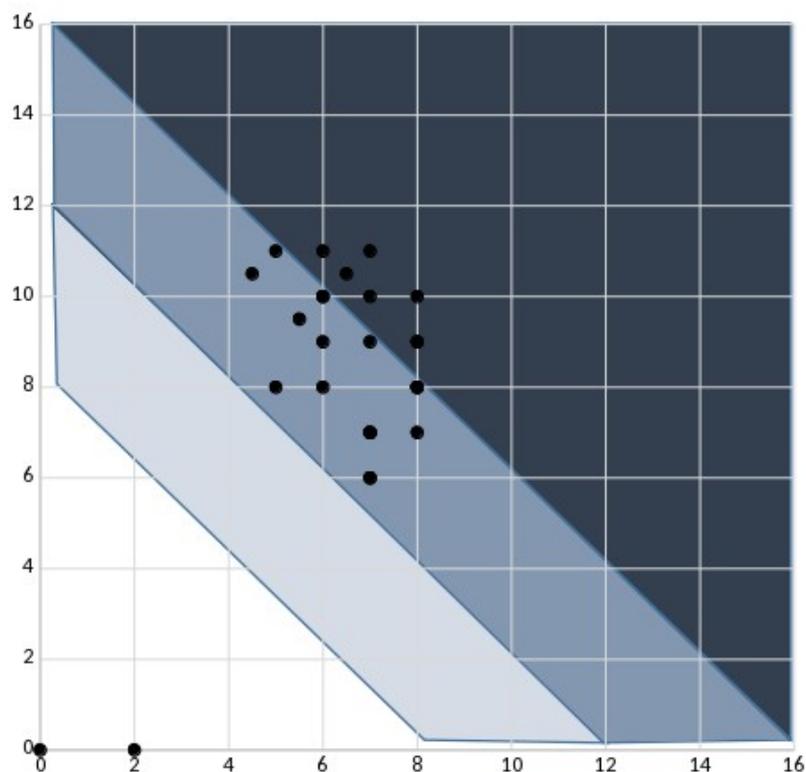
Die GeoEnergie Suisse AG hat im Auftrag des Kanton Jura die gleichen Themen untersucht, musste aber mit einem sehr eingeschränkten Datensatz zurechtkommen, da der grösste Teil der Projektdaten öffentlich zugänglich war.

Der SED hat den Inhalt der GeoEnergie-Suisse-Studie begutachtet, in Relation zu den veröffentlichten Erkenntnissen der Expertenkommission gesetzt. Ausserdem hat der SED beide Berichte im Lichte des aktuellen Standes des Wissenschaft hinterfragt und eigen Berechnungen angestellt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, an der sieben erfahrene Seismologen des SED beteiligt waren, wurden in verständlichen Form in einem Bericht zu Händen des Kanton aufbereitet. Ausserdem wurde der Bericht an eine eintägigen Sitzung mit dem Kanton diskutiert und Fragen beantwortet.

2.11 Good Practice Guideline

Der SED hat Ende 2017 einen Bericht erstellt und auf seiner Webseite publiziert, der erfolgreiche Strategien (good practices) im Umgang mit induzierter Seismizität bei Tiefengeothermieprojekten zusammenstellt (Wiemer et al., 2017). Der Bericht soll insbesondere kantonalen Bewilligungsbehörden, aber auch Projektbetreibern, nützliche Hinweise geben, um die Risiken menschengemachter Erdbeben abzuschätzen und auf ein verträgliches Mass zu begrenzen. Der SED ist dabei eine Zusammenfassung des englischen Berichts mit den wichtigsten Erkenntnissen und Empfehlungen auf Deutsch, Französisch und Italienisch zu erstellen.

Abbildung 13: GRID-Bewertung für 28, grösstenteils in Betrieb befindliche, Geothermieprojekte in der bayerischen Molasse. Auswertung der Geothermie Allianz Bayern (TU-München).



Im Zuge der Übersetzungen wird auch der ausführliche englische Bericht aufdatiert werden. Wie oben berichtet, haben sich bei der Anwendung der GRID-Bewertung auf reale Projekte Problem gezeigt, die teils durch die Neudefinition von Bewertungsschranken einzelner Bewertungsparameter oder einer genaueren Anwendungsbeschreibung behoben werden können. Um diese Aufdatierung möglichst allgemeingültig durchführen zu können, hat der SED Eine Zusammenarbeit mit der TU-München begonnen um die Geothermieprojekte der bayerischen Molasse mit GRID zu bewerten. Abbildung 10 zeigt die vorläufige Bewertung von 28 Projekten in der bayerischen Molasse, die die Geothermie Allianz Bayern (TU-München) vorgenommen hat. Es ist geplant auch den Input der Betreiber der einzelnen Projekte in die GRID-Bewertung einfließen zu lassen, um detaillierte Ergebnisse zu erhalten. Die Aufdatierung geschieht in enger Zusammenarbeit mit Prof. Trudnevyte von der Uni Genf, die GRID mitentwickelt hat.

Ausserdem, hat der SED hat damit begonnen eine weiter Empfehlungsrichtlinie zu erstellen. Dabei soll dbei der die Unterscheidung von natürlichen und induzierten Beben im Vordergrund stehen. Neben der Sichtung der aktuellen Ergebnisse in Publikationen, hat der SED eine Schwerpunktsitzung zu dem Thema auf dem 3. Schatzalp Workshop on Induced Seismicity geplant. Hier werden anerkannte Experten das Thema vor einem internationalen Fachpublikum diskutieren. Die Ergebnisse und Rückmeldungen aus dieser Diskussion werden in die Guideline einfließen, die bis Mitte nächsten Jahres fertiggestellt werden soll.

2.12 Durchführung des 3. Schatzalp Workshops

Wir haben von 5. - 8. März den 3. Schatzalp Workshop on Induced Seismicity in Davos durchgeführt. Es ist wieder gelungen 180 internationale Experten zum Thema induzierte Seismizität in der Schweiz versammeln. Alle Vortrags- und Posterbeiträge sowie Hintergrundinformationen zur Tagung können auf <http://www.seismo.ethz.ch/en/research-and-teaching/schatzalp-workshop/> abgerufen werden.

3 Referenzen

Dieh, T., H. Madritsch, Th. Spillmann, T. Kraft, M. Schnellmann (2019). *Imaging of seismotectonic processes in the upper crust of the Northern Alpine Foreland of Switzerland*. Swiss Geoscience Meeting, Fribourg.

Herrmann, M., Kraft, T., Tormann, T., Scarabello, L., & Wiemer, S. (2019) A Consistent High-resolution Catalog of Induced Seismicity in Basel Based on Matched Filter Detection and Tailored Post-processing, JGR, <https://doi.org/10.1029/2019JB017468>

Trutnevyte, E. & Wiemer, S. (2017). Tailor-made risk governance for induced seismicity of geothermal energy projects: An application to Switzerland. *Geothermics*, 65, 295–312, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geothermics.2016.10.006>.

Simon, V., T. Kraft, T. Diehl, S. Wiemer (2019). High-resolution imaging and analysis of seismicity patterns in Swiss microearthquakes sequences. Swiss Geoscience Meeting, Fribourg.

Sonney, R., 2010. Groundwater flow, heat and mass transport in geothermal systems of a Central Alpine Massif. The cases of Lavey-les-Bains, Saint-Gervais-les-Bains and Val d'Illeiez, PhD Thesis, University of Neuchâtel, pp. 319.

Wiemer, S., T. Kraft, E. Trutnevyte and P. Roth (2017). *“Good Practice” Guide for Managing Induced Seismicity in Deep Geothermal Energy Projects in Switzerland*. Report of the Swiss Seismological Service @ ETH Zurich for SwissEnergy, <http://dx.doi.org/10.12686/a5>.