

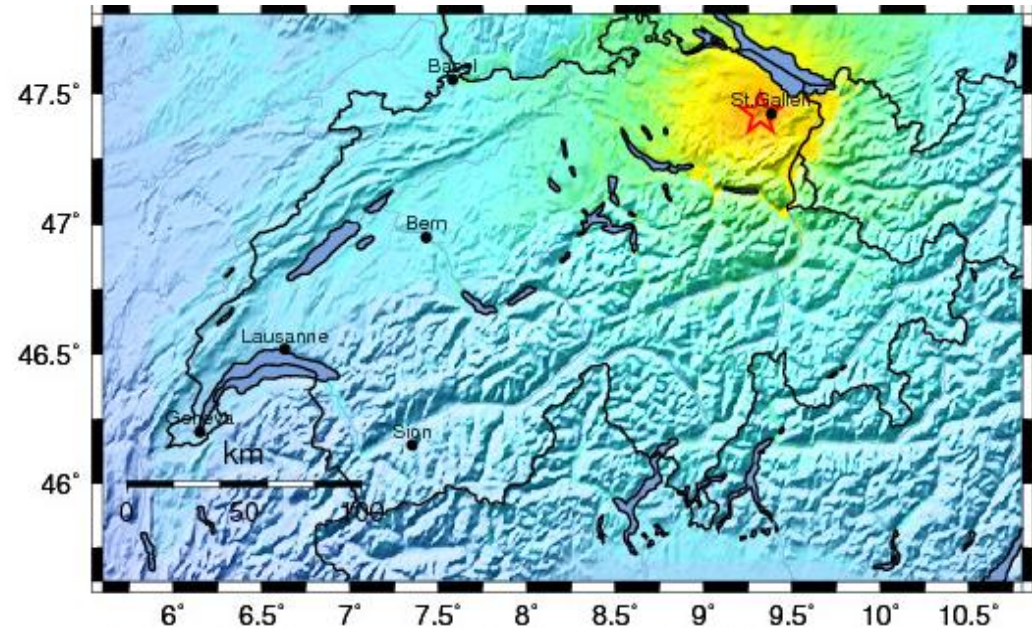


Analysen zur induzierten Erdbebensequenz St. Gallen

27.08. 2013

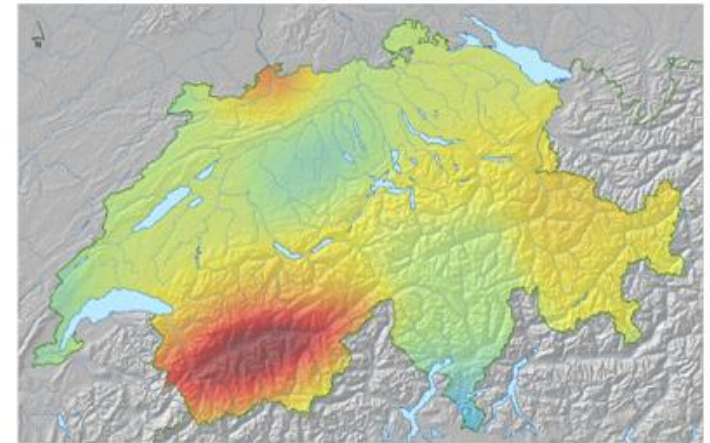
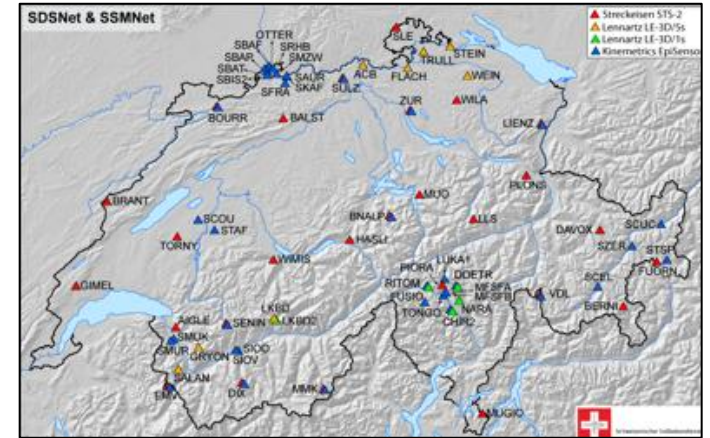
Prof. Stefan Wiemer

Schweizerischer
Erdbebendienst,
ETH Zürich



Die Rolle des SED

- Als unabhängige Fachstelle des Bundes für Erdbeben sind unsere Hauptaufgaben die Überwachung der Seismizität der Schweiz, die Warnung der Bevölkerung und die Untersuchung der Erdbebengefährdung.
- Finanziert durch das BFE und die St. Galler Stadtwerke haben wir die seismische Überwachung des Projektes durchgeführt.
- Wir betreiben aktiv Forschung im Bereich induzierte Erdbeben.



Die Rolle des SED

- Die Sankt Galler Stadtwerke(sgsw) und der SED haben im letzten Jahr und insbesondere in den letzten Wochen gut, offen und intensiv zusammen gearbeitet.
- Wir haben unsere (zum Teil) hier und heute vorgestellten Daten und Expertise in den letzten Wochen dem Projektteam zukommen lassen, in der Hoffnung, dadurch den sgws und mittelbar auch dem Kanton St. Gallen bei der Entscheidungsfindung bezüglich zukünftiger Optionen zu helfen¹.



¹ Der SED ist nicht in die vom St. Galler Stadtrat, dem Kanton bzw. den Sankt Galler Stadtwerken getroffenen Entscheidungen involviert und aus unserer Anwesenheit kann nicht abgeleitet werden, dass wir in allen Punkten mit den Entscheidungen und dem weiteren Vorgehen übereinstimmen.



Induzierte Erdbeben

Weltweit ein aktuelles Thema

Geology

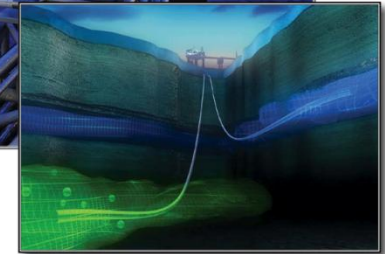
Potentially induced earthquakes in Oklahoma, U.S., and the 2011 M_w 5.7 earthquake sequence in Virginia

Katie M. Keranen, Heather M. Savage, Geoffrey A. Abers and William L. Ellsworth

Geology published online 26 March 2013;
doi: 10.1130/G34045.1



Liquid carbon dioxide has been injected into the Sleipner gas- and oilfield in the North Sea for 15 years without triggering any seismicity. It serves as a good example of how fluid injection can be done safely.



Managing the Seismic Risk Posed by Wastewater Disposal

Mark D. Zoback

From an earthquake perspective, 2011 was a remarkable year. While the devastation accompanying the magnitude-9.0 Tohoku earthquake that occurred off the coast

Virginia Seismic Zone, an area known to produce relatively frequent small earthquakes.

However, a number of the small-to-moderate earthquakes that occurred in the U.S. interior in


REVIEW SUMMARY

Injection-Induced Earthquakes

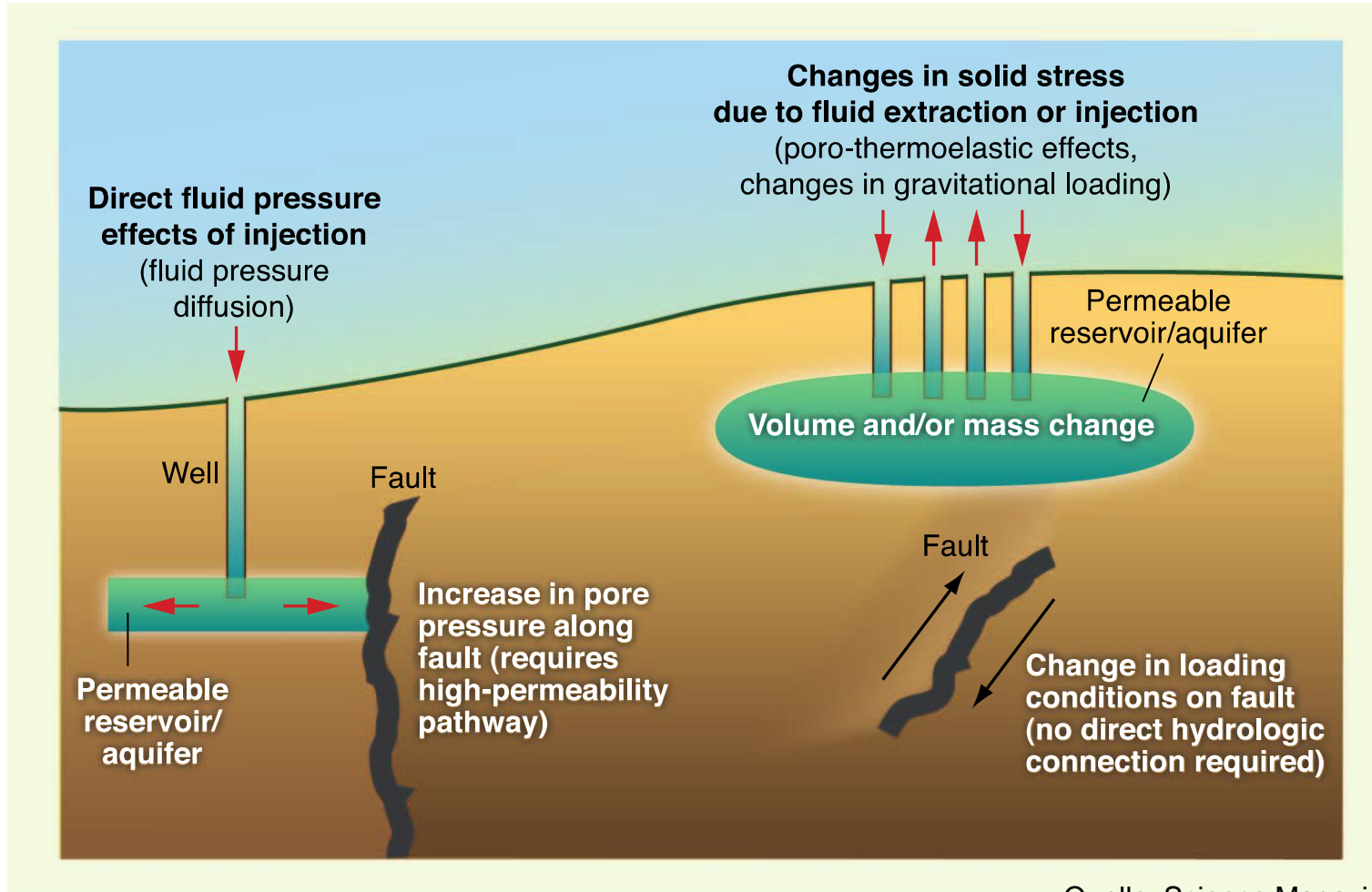
William L. Ellsworth

Background: Human-induced earthquakes have become an important topic of political and scientific discussion, owing to the concern that these events may be responsible for widespread damage and an overall increase in seismicity. It has long been known that impoundment of reservoirs, surface and

READ THE FULL ARTICLE ONLINE
<http://dx.doi.org/10.1126/science.1225942>

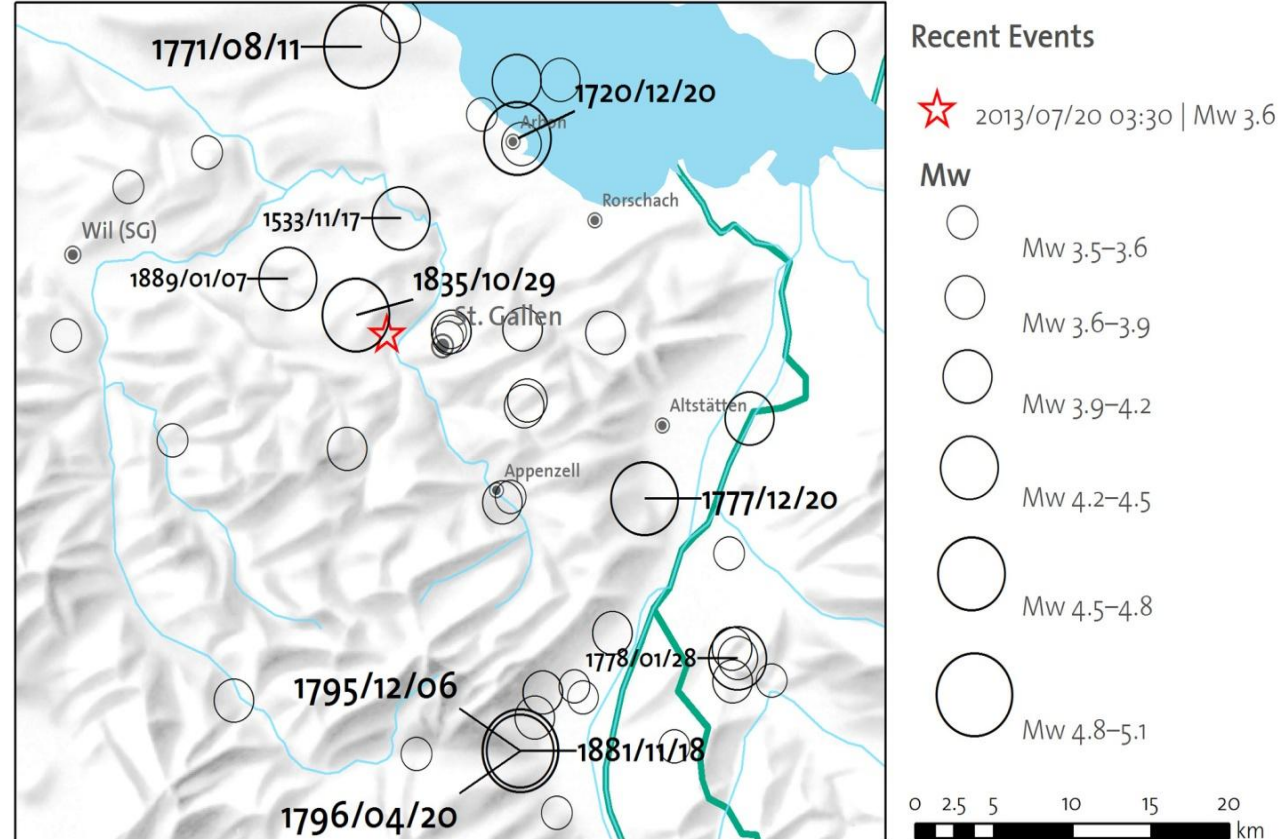
 Cite this article as W. L. Ellsworth, *Science* 341, 1225942 (2013).
DOI: 10.1126/science.1225942

Mechanismen, wie induzierte Erdbeben erzeugt werden können



Quelle: Science Magazine

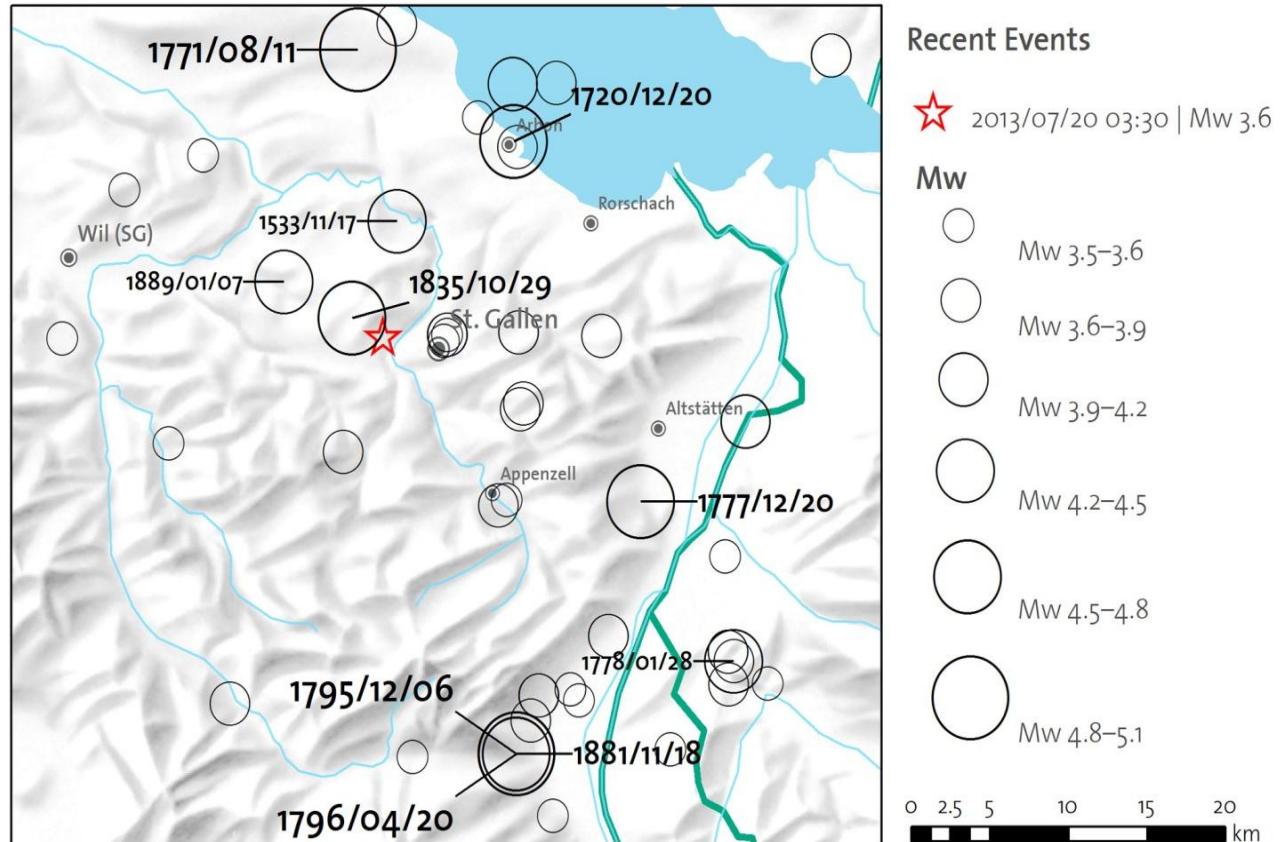
Historische Erdbeben in der Region St. Gallen



1835/10/29 | “Abtwil” | Mw 4.7

Several minor damages in the St. Gallen and Appenzell area (fallen off roof tiles). Cracks in vaults in various localities of the canton of Appenzell. Collapsed chimneys in Bischofszell. Loud banging noise reported in St. Gallen [cf. *Gisler and Fäh*, 2011, p.103f].

Historische Erdbeben in der Region St. Gallen



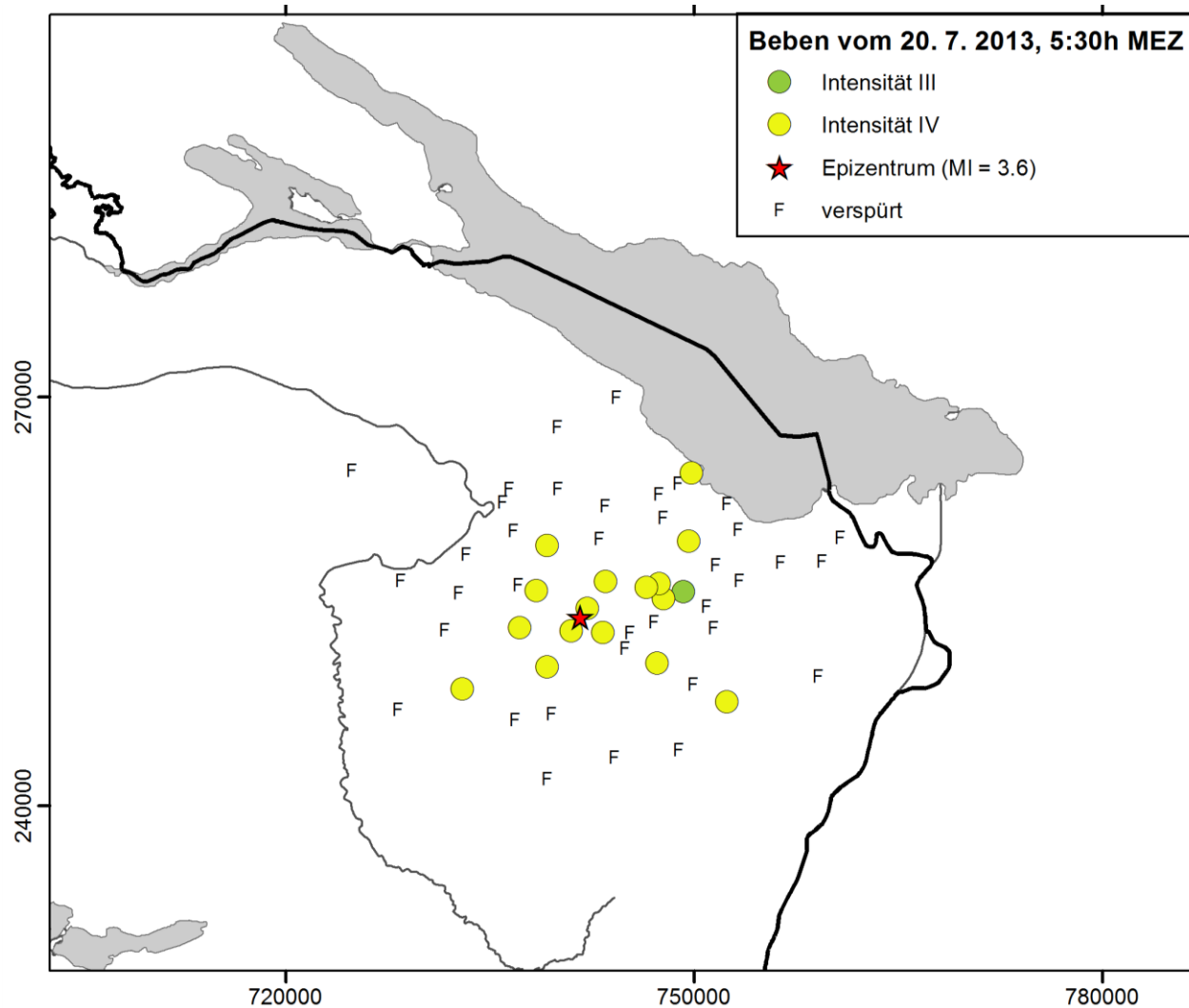
1720/12/20 | “Arbon” | Mw 4.7

This event had for a long time been considered to be one of the most important earthquakes in north-eastern Switzerland. The historical-critical reassessment of the quake however showed that its dimensions had been overestimated as its effects were dramatized in secondary sources. Minor damages are reported from the city of St. Gallen, castle walls were damaged in Roggwil and Arbon, where some chimneys collapsed as well. Uncommon waves were observed in the lake. [Gisler *et al.*, 2004; cf. Gisler, 2008; Gisler and Fäh, 2011, p.37].



Das Magnitude 3.5 'Hauptbeben' vom 20.07.2013

- Mehr als 400
Meldungen online
eingegangen
- Makroseismische
Intensität von IV





EMS 98

St. Gallen (MI3.5)



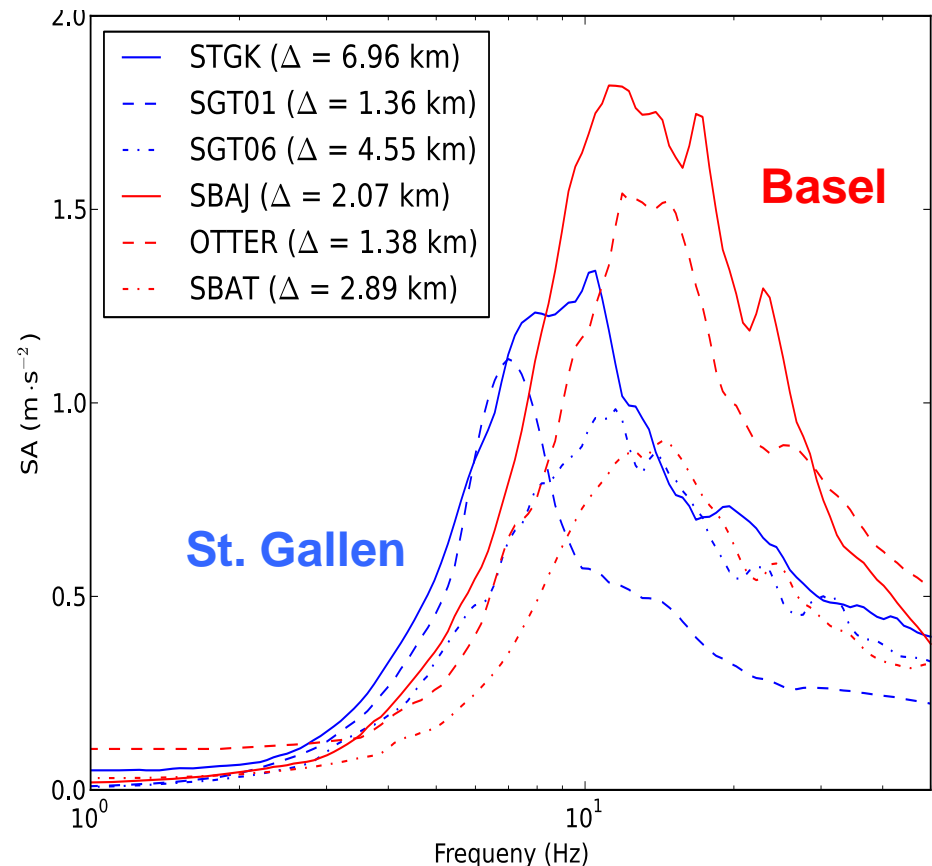
Basel (MI3.4)



EMS-98 Intensität	Gefühl	Auswirkungen	Magnitude (Näherungswerte)	Gebäudeschäden (Mauerwerk)
I	Nicht fühlbar	Nicht fühlbar	2	
II-III	Schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Schütteln.		
IV	Leicht	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.	3	
V	Moderat	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen, wenige reagieren verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.		
VI	Stark	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Risse im Mauerwerk oder Verputz.	4	
VII	Sehr stark	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen aus Regalen. An solide gebauten Häusern treten häufig mässige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Schäden am Verputz, Herabfallen von Ziegeln). Vor allem Gebäude in schlechterem Zustand erleiden grössere Mauerrisse und Zwischenwände stürzen ein.		
VIII	Hefig	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An den meisten Gebäuden mit einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf, beispielsweise stürzen Giebelteile und Dachsimse ein.	5	
IX	Sehr heftig	Allgemeine Panik. Sogar gut gebaute Bauten zeigen sehr schwere Schäden und tragende Bauteile stürzen teils ein. Viel schwächere Bauten stürzen ein.		
X+	Extrem	Die meisten Bauwerke, selbst sehr solide gebaute, erleiden schwere Beschädigungen oder stürzen ein.	6	
			7	

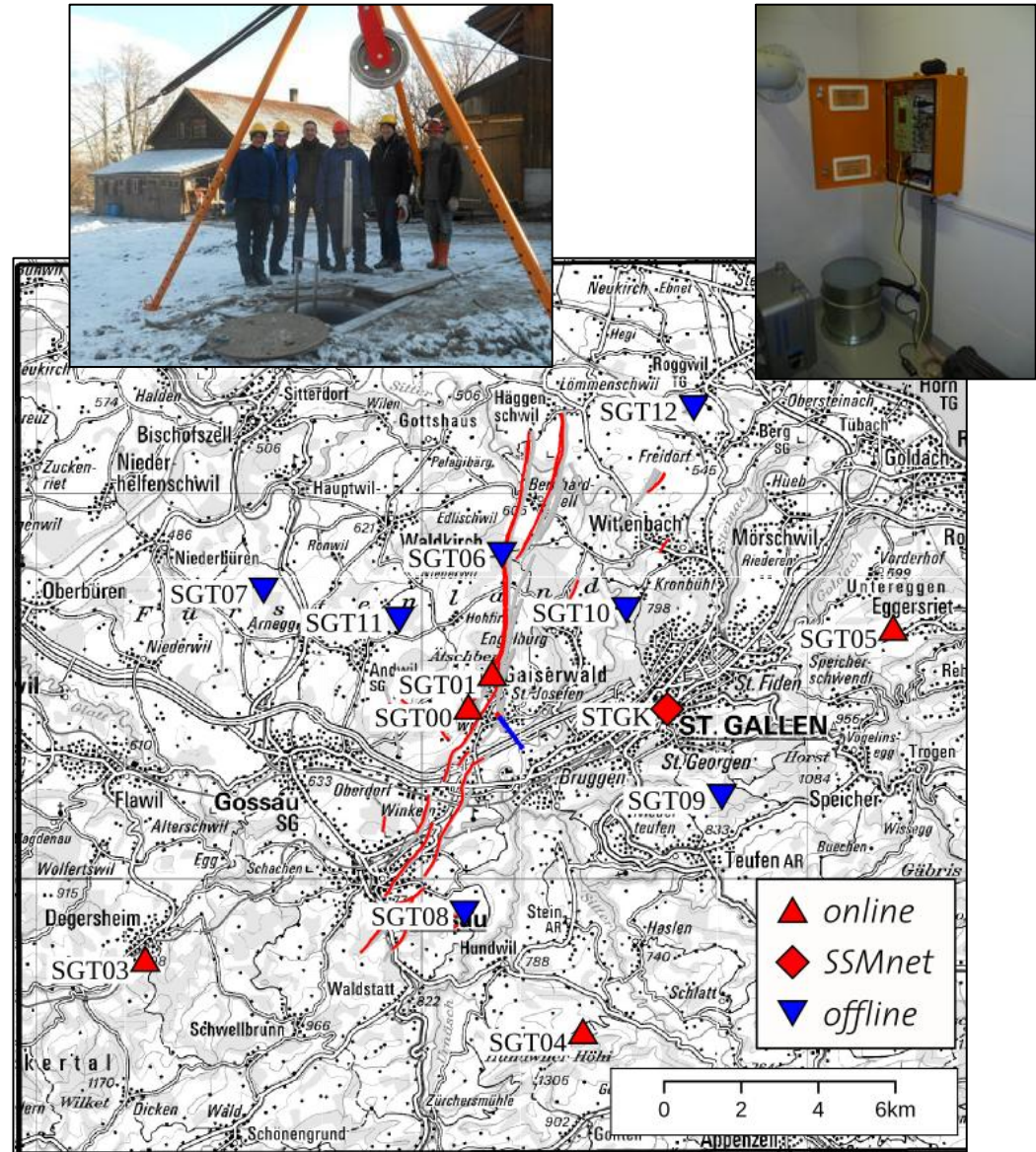
Warum gab es in Basel bei Intensität V mehr Schäden an Gebäuden als in St. Gallen bei Intensität IV ?

- Weil es in Basel mehr Gebäude gibt.
- Weil der Bruchprozess in St. Gallen anders war: Ein langsamere Bruch, der weniger Energie in den hohen Frequenzen abgestrahlt hat (→ kein Knall, weniger Risse im Verputz)



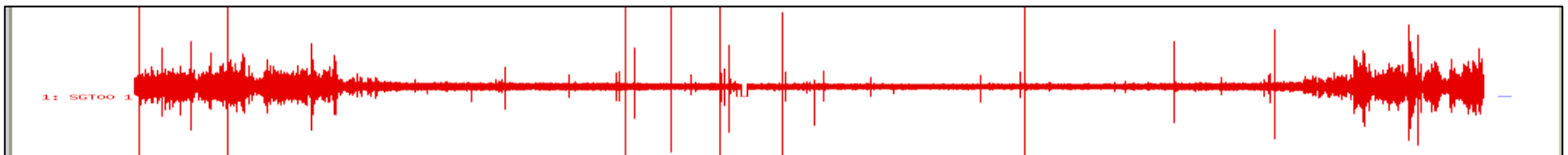
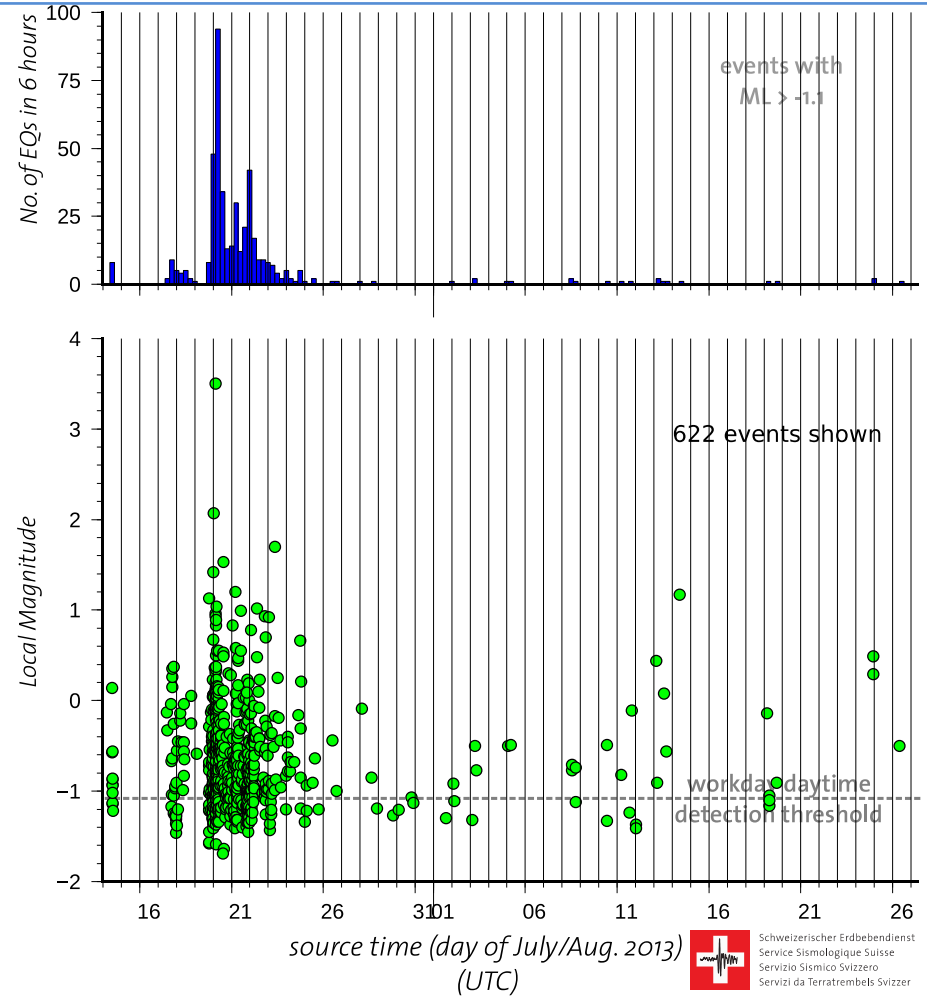
Seismisches Messnetzwerk

- Wir haben das seismische Netzwerk im nahen Umfeld des Geothermieprojekts weiter verdichtet.
- Ohne ein vorher installiertes Netzwerk wären wir kaum in der Lage gewesen zu verstehen, was genau passiert ist.



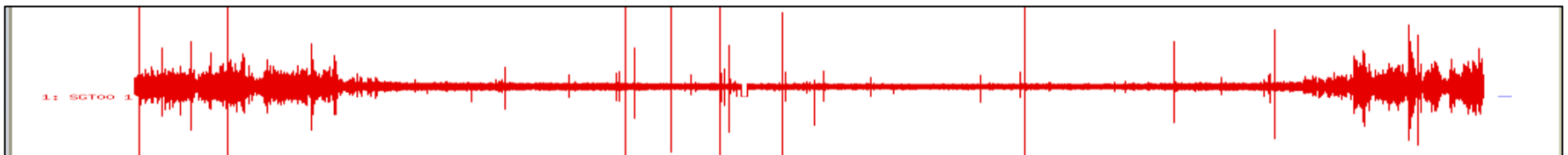
Die Nachbebensequenz

- Mehr als 620 Erdbeben detektiert.
- Nachts lassen sie die kleinsten Beben besser detektieren als tagsüber.



Die Nachbebensequenz

- Die seismische Aktivität (,Nachbebenaktivität') ist, wie zu erwarten, im Mittel weiter abgeklungen, wobei die Aktivitätsrate leicht schwankt.
- Die Aktivitäten ist von einer normalen, tektonischen Nachbebensequenz nicht zu unterscheiden (wie auch in Basel beobachtet).
- Die Sequenz wird sich noch über einige Monate oder Jahre hinziehen, wenn auch mit stetig abnehmender Intensität.
- Die Wahrscheinlichkeit eines weiteren, spürbaren Bebens in den nächsten 12 Monaten liegt bei ca. 10 % bis 20 % und die eines weiteren Bebens der Magnitude 3.5 oder grösser bei ca. 1 bis 3 %.

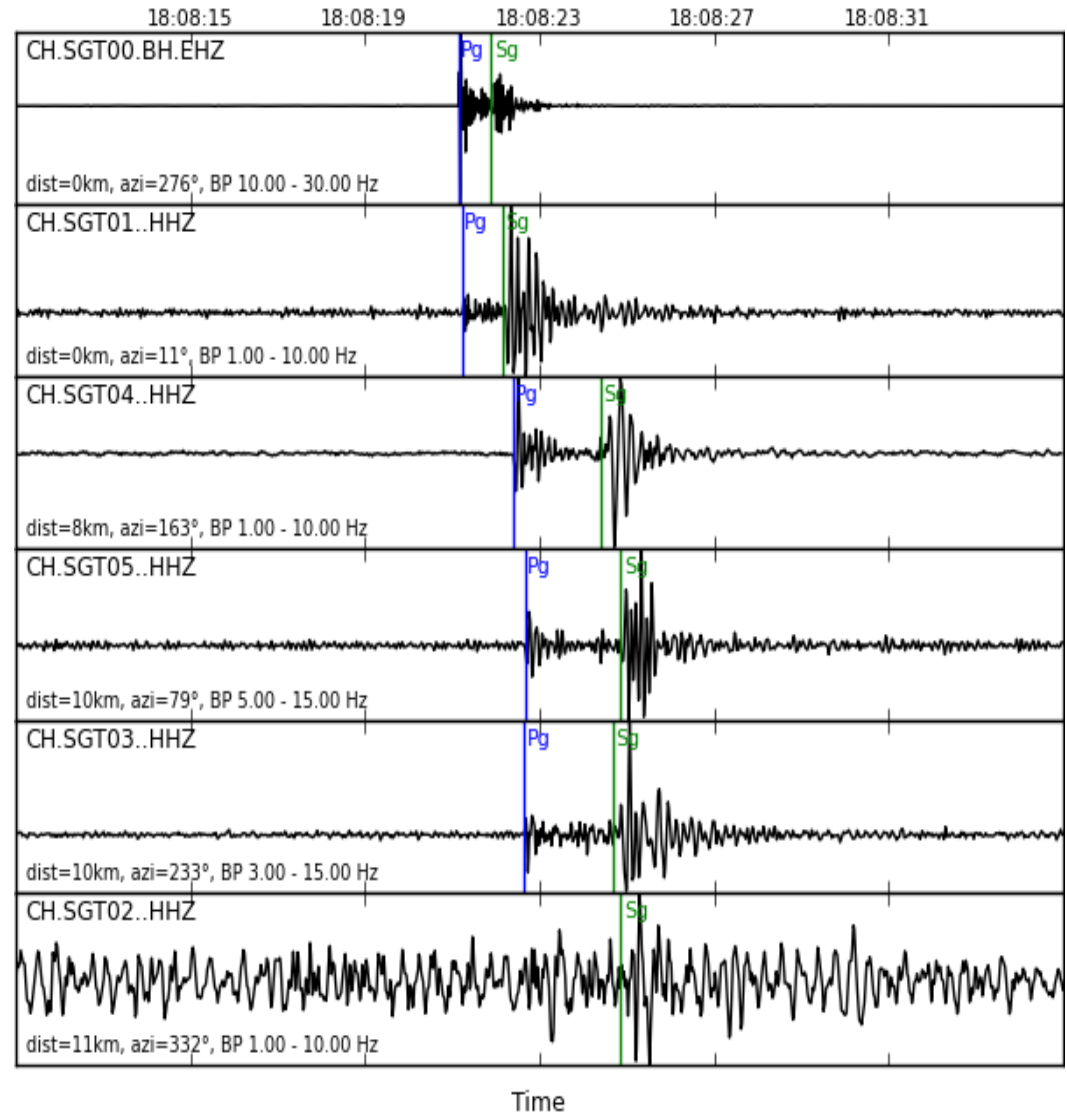




smi:ch.ethz.sed/sc3rg/origin/NLL.20130724183259.440595.20022 2013-07-24 18:08:20.5 UTC
St. Gallen SG, manual, MLh = 0.7, Lat: 47.424, Lon: 9.316, Dep: 3.9 km, Type: earthquake

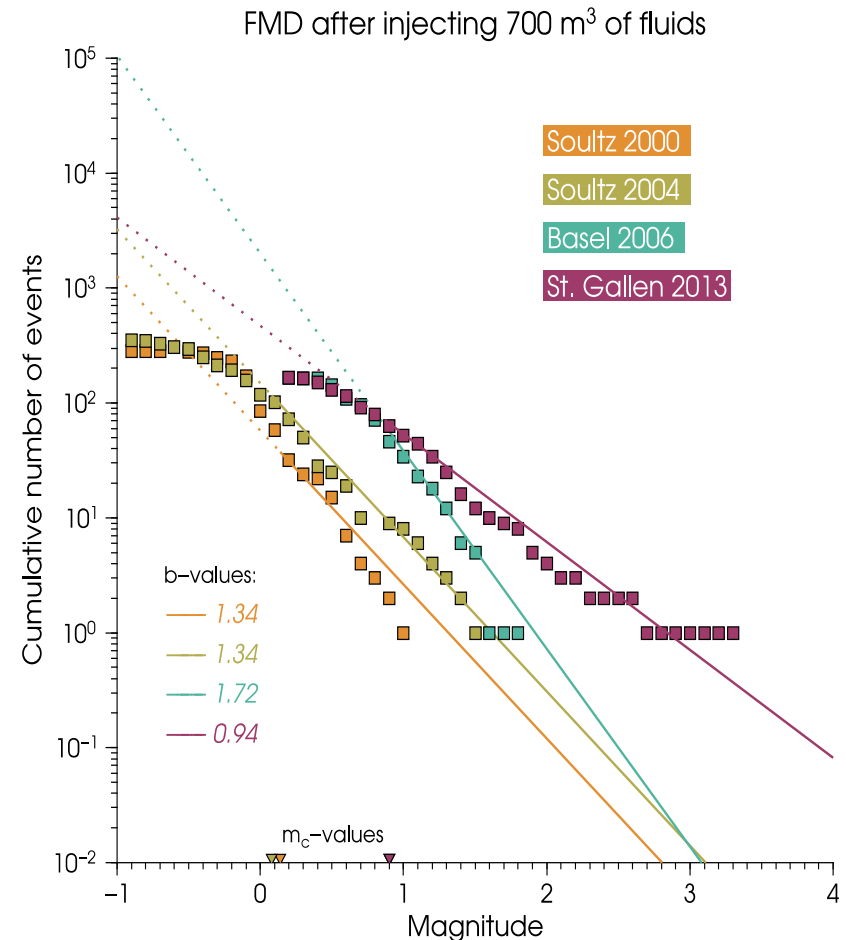
Manuelle Auswertung und Lokalisierung der Erdbeben

- Zeitaufwendig,
aber notwendig.



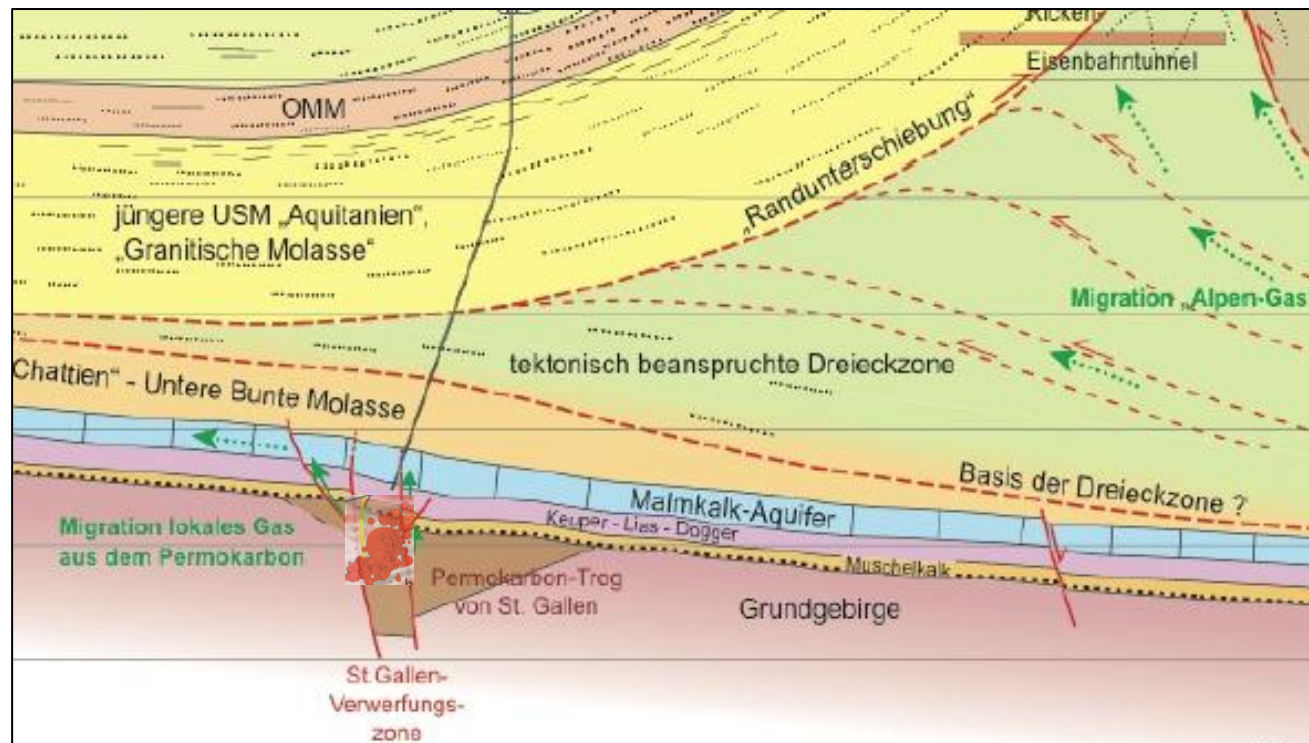
Was haben wir herausgefunden?

- Relativ zum eingepressten Volumen Wasser und dem dabei verwendeten Druck war die Reaktion des St. Galler Untergrundes ungewöhnlich heftig, heftiger als etwa in Basel, Soultz (F) oder Unterhaching (D).
- Die Erklärung dafür liegt wahrscheinlich darin, dass in St. Gallen eine kritisch vorgespannte, aktive Verwerfungszone angebohrt wurde, die optimal zum regionalen Spannungsfeld orientiert



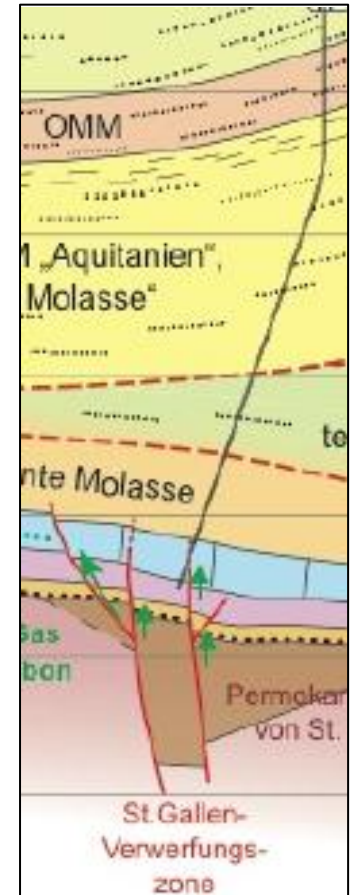
Was haben wir herausgefunden?

- Die genaue Tiefenlage der induzierten Erdbeben ist noch unbekannt. Die Beben liegen auf der kartieren Störung, möglicherweise aber einige hundert Meter unterhalb des Malm, im mesozoischen Basement.



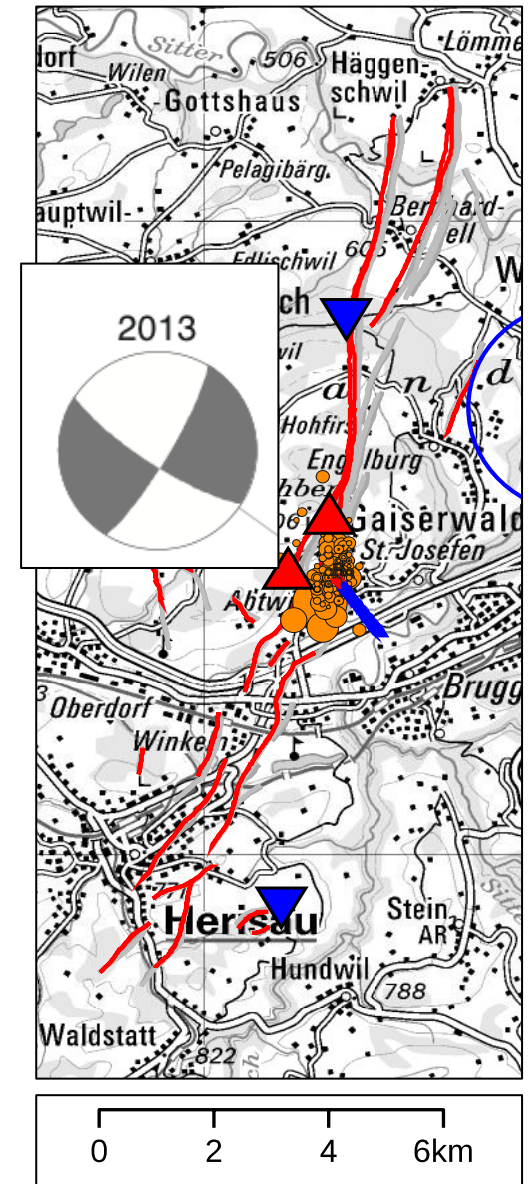
Was haben wir herausgefunden?

- Das Ziel eine **Verwerfungszone im Malm mit erhöhter Permeabilität** zu finden, ist erreicht worden.
- Die Verwerfungszone ist, anders als ursprünglich vom Projekt angenommen, **seismisch aktiv**. Dadurch erhöht sich das seismische Risiko für die Erstellung und den Betrieb eines Hydrothermalsystems wesentlich.
- Die **Gasproblematik** ist eine zusätzliche Herausforderung die vorher nicht bedacht worden ist.
- Schon im 1987 (M3.2) und 1992 (M2.2) hat es tektonische Beben auf dieser Verwerfungszone gegeben
- Auf einer aktiven Verwerfung gibt es Bereiche, die durch den natürlichen Spannungsaufbau **kritisch vorgespannt** sind. Hier reicht bereits eine geringe Porendruckänderung, um Erdbeben auszulösen.



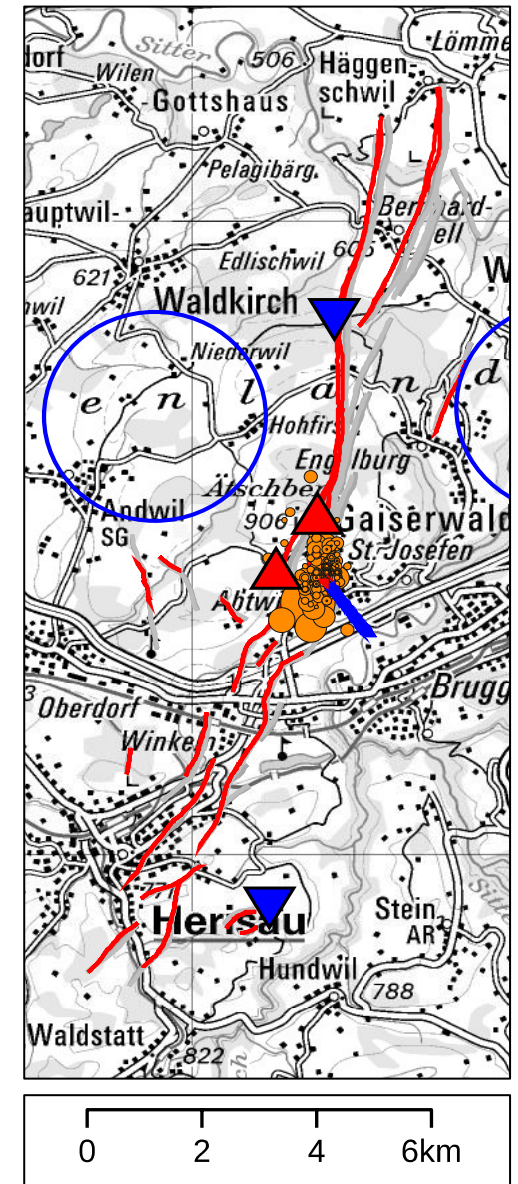
Was haben wir herausgefunden?

- Der Bruch war eine etwa 1 km lange Blattverschiebung.
- Es ist ein gelegentlich gemachter Trugschluss, dass induzierte (kleinere) Beben zu einem vollständigen Spannungsabbau und somit einer Reduktion des Erdbebenrisikos führen.
- Der Spannungsabbau in dem M3.5 Beben von wenigen bar hat dabei wahrscheinlich nur einen kleinen, insignifikanten Teil der auf der gebrochenen Verwerfungsfläche existierenden Gesamtspannung abgebaut – die gleiche Bruchfläche könnte sich bei einem weiteren erneut Erdbeben bewegen.



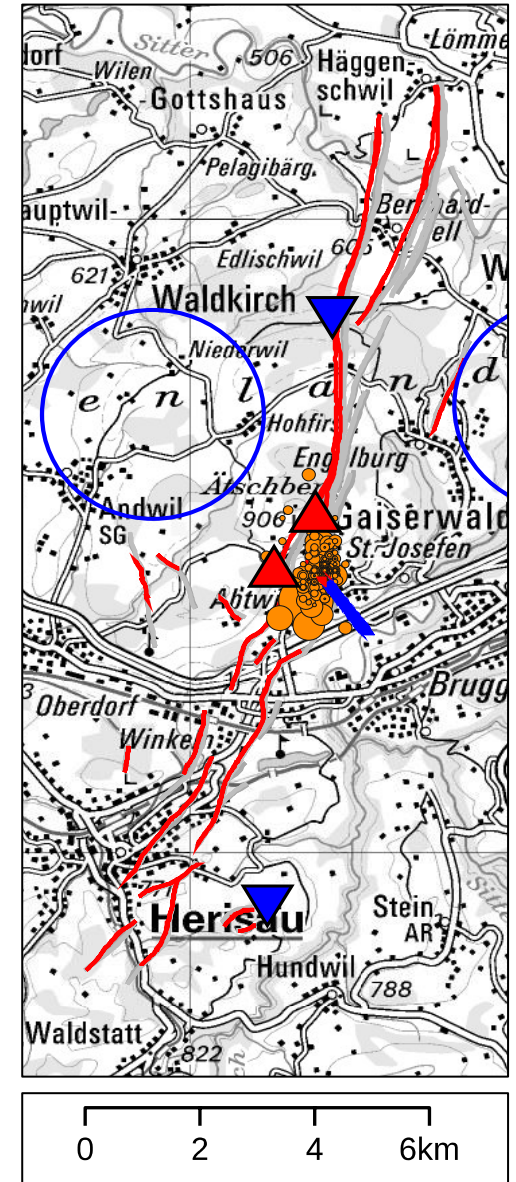
Was haben wir herausgefunden?

- Es ist momentan unklar, wie gross und wie zusammenhängend die Verwerfungszone ist, wie tief sie sich in den Untergrund erstreckt und in welchen Bereichen sie möglicherweise kritisch vorgespannt ist.
- Unser Wissen des Untergrundes ist sehr begrenzt – und wird es bleiben.
- Erdbeben können erfahrungsgemäss während der Bruchausbreitung von einem Segment einer Verwerfungszone auf ein anderes überspringen, ohne dass die Segmente kontinuierlich verbunden sein müssen.



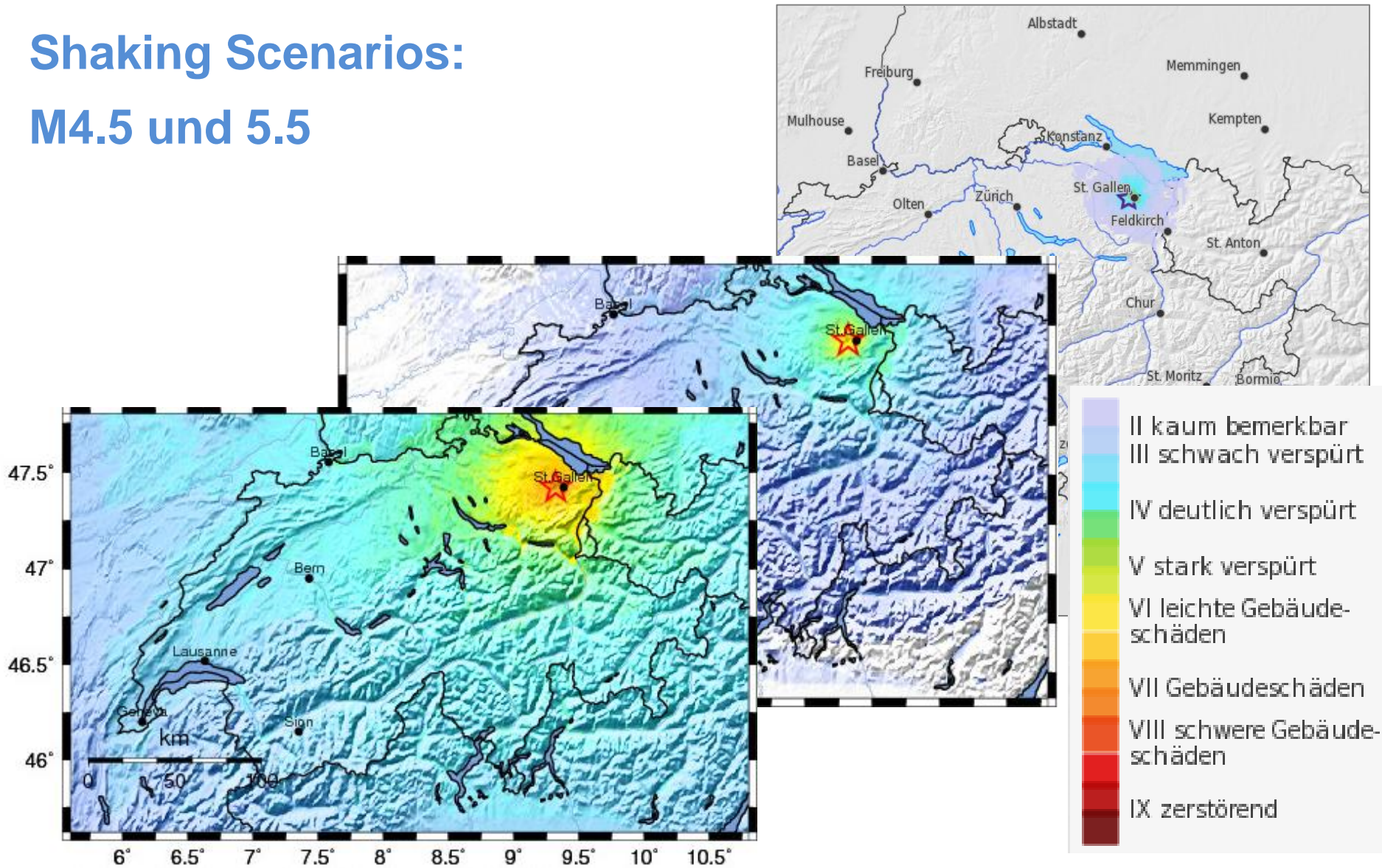
Was haben wir herausgefunden?

- Gemäss unseren derzeitigen Kenntnissen gibt es keinen Grund auszuschliessen, dass ein zukünftiges Erdbeben auch mehrere Teilsegmente der St. Galler Verwerfungszone aktiviert, wenn auch mit einer kleinen Wahrscheinlichkeit.
- Es ist möglich, dass das 1835 M4.7 Abtwil Beben ein derartiges Multi-Segment Beben war. Ein Beben dieser Magnitude würde in etwa eine Bruchlänge von 3 bis 4 Kilometern beanspruchen und ein Schadenspotential von 50 bis 200 Millionen Franken haben.



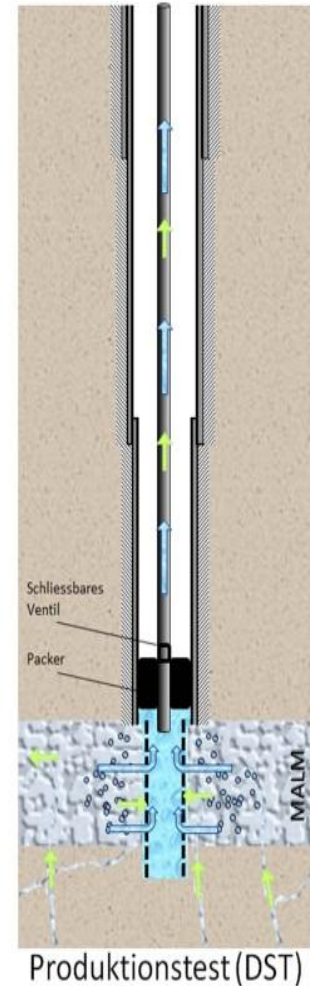


Shaking Scenarios: M4.5 und 5.5



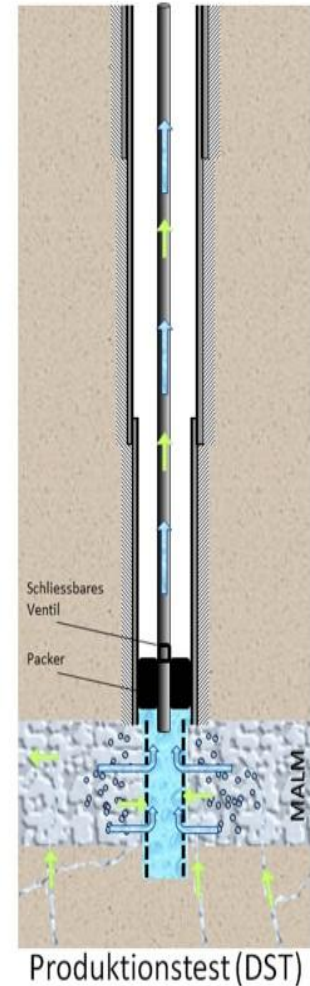
Anregungen SED für spätere Betriebsphasen

- Ein Produktionstest ist nach unserem Ermessen an sich weniger gefährlich als eine erneute Injektion unter hohem Druck. Allerdings ist auch eine Extraktion, speziell aus einer aktiven Verwerfungszone, die sich als leicht stimulierbar gezeigt hat, nicht absolut ohne seismische Gefährdung.
- Eine verlässliche Quantifizierung der Wahrscheinlichkeit eines weiteren, spürbaren Erdbebens bzw., eines Schadensbebens ist momentan nicht möglich. Es ist möglich, diese Wahrscheinlichkeit durch ein sanftes Vorgehen und ein frühzeitiges Abbrechen des Produktionstestes bei unerwartetem Auftreten von Mikrobeben deutlich zu reduzieren.



Anregungen SED

- Da die Wirkung eines Produktionstests heute nicht von der aktuellen Seismizität abgegrenzt werden kann, sollte aus seismologischer Sicht ein Produktionstest am ehesten dann durchgeführt werden, wenn die Seismizität wieder auf ein weitgehend normales Niveau zurückgekehrt ist. Der Test sollte auch dann zu Zeiten durchgeführt werden, zu denen das seismische Netzwerk die beste Detektionsfähigkeit aufweist, also Nachts bzw. am Wochenende.
- Eine erneutes Verpressen von Wasser bzw. Bohrspülung in die Verwerfungszone sollte unbedingt vermieden werden. Zur Bekämpfung von ansteigendem Druck aufgrund eines Gaseintritts darf nicht das sonst übliche Verfahren des Gegendrucks angewandt werden.





Anregungen SED für spätere Betriebsphasen

- Die Bohrung befindet sich in einer natürlich Verwerfungszone, die optimal zum regional Spannungsfeld orientiert ist, leicht aktivierbar ist und auf der tektonisch ausgelöste Beben in der Vergangenheit aufgetreten sind.
- Bevor in einer solchen Zone grosse Mengen Wasser eingepresst bzw. extrahiert werden, muss unserer Auffassung nach eine **breit angelegte, unabhängige und ergebnisoffen durchgeführte Risikostudie** zu dem Schluss kommen, dass das dabei vorhandene Erdbebenrisiko tragbar ist.
- Man beachte: In anderen hydrothermalen Geothermieprojekten sind die grössten Beben erst während der Produktion aufgetreten.





Anregungen SED für spätere Betriebsphasen

- Eine derartige Risikostudie sollte bewusst die Unsicherheiten in den Daten und in unserem Prozessverständnis in Betracht ziehen.
- Zudem muss das Ampel- und Reaktionsschema so angepasst werden, dass es auch zwingend umgesetzt werden kann, wenn Gas in die Bohrung eintritt.
- Die weiteren Abklärungen sollten unsere Meinung nach in enger Zusammenarbeit mit anderen nationalen Kompetenzzentren stattfinden und von einem internationalen Expertenteam begleitet werden.





Was macht der SED?

- Die seismische Überwachung im Nahfeld der Bohrung wird fortgesetzt.
- Die Daten werden weiter analysiert und modelliert.
- Die aktuelle Seismizität in der Region St. Gallen und weitere Informationen zum Projekt sind auf der Webseite des SED (www.seismo.ethz.ch) jederzeit abrufbar.

Herzlichen Dank!

The screenshot shows the website of the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, specifically the Seismological Service (SED). The page is titled "Schweizerischer Erdbebendienst (SED)" and provides information about the service's activities and current earthquake data.

Schweizerischer Erdbebendienst (SED)
Der Schweizerische Erdbebendienst (SED) an der ETH Zürich ist die Fachstelle des Bundes für Erdbeben. Seine Hauptaufgaben sind die Überwachung der Seismizität der Schweiz und die Untersuchung der Erdbebengefährdung. Die Aktivitäten des SED sind im [Massnahmenprogramm des Bundes](#) zur Reduktion des Erdbebenrisikos eingebunden.

Aktuelle Erdbeben: Schweiz / Welt

Date/Time(CH)	Date/Time(UTC)	Mag	Region
2013/08/27 09:27	2013/08/27 07:27	1.4	Tavannes BE
2013/08/27 07:03	2013/08/27 05:03	0.9	Sion VS
2013/08/27 03:19	2013/08/27 01:19	2.3	France
2013/08/25 00:52	2013/08/24 22:52	0.7	St. Gallen SG
2013/08/24 18:21	2013/08/24 16:21	1.5	Mulhouse F
2013/08/21 17:52	2013/08/21 15:52	0.7	Frick AG
2013/08/21 16:26	2013/08/21 14:26	1.1	Frick AG

In der Schweiz verspürte Erdbeben der letzten 72 Stunden:
Automatische nicht überprüfte Lokalisierung
Region: **PREALPI FRIULANE**, Datum/Zeit: 2013/08/24 15:59 (CH) 2013/08/24 13:59 (UTC), Magnitude: 3.6 (Aktualisiert: 24.08.2013 14:01:52 UTC)
Erdbeben gespürt? »

Aktuelles
Erdbeben Geothermieprojekt St. Gallen
Am 14. Juli 2013 begannen die Test- und Stimulationsmassnahmen im Rahmen des geplanten Geothermieprojekts im Sittertobel bei St. Gallen. Die dabei ausgelösten Mikrobenben waren in Anzahl und Stärke so erwartet und für Menschen nicht spürbar. Am Abend des 19. Juli begann die seismische Aktivität zuzunehmen, die Erdbeben ereigneten sich häufiger und wurden stärker. Den bisherigen Höhepunkt erreichte die Sequenz am Morgen des 20. Juli mit einem spürbaren Beben der Magnitude 3.5. Nach heutigem Stand der Erkenntnis stehen diese Beben in direktem Zusammenhang mit den Massnahmen, die eingeleitet wurden, um den am 19. Juli mittags festgestellten Gas-Wasser-Austritt zu bekämpfen.
Seitdem hat die seismische Aktivität kontinuierlich abgenommen, erneute, stärkere Beben sind aber noch wie vor nicht auszuschliessen. Des

Wenn die Erde bebt
Erdbeben - was tun
Erdbeben gespürt?
Melden Sie ein Erdbeben
SED informiert:
Erdbebenmeldungen
Erdbebeninfo weltweit:
U.S. Geological Survey
NINTRAS: Media Reports
EU-Med. Seismological Centre

Weitere Informationen
Massnahmen zur Erdbebenvorsorge (BAFU) »
Seismische Gefährdung »
Offene Stellen »
Kontakt »