



Demonstration of soft stimulation treatments
of geothermal reservoirs

Hydraulische Stimulation zur Deckung des steigenden Wärmebedarfs der Stadt Reykjavik

Hannes Hofmann & das DESTRESS-Team

This project has received funding from the European Union's
Horizon 2020 research and innovation programme
under grant agreement No. 691728



Ausgewählte Partner und Auftragnehmer

Hannes Hofmann, Günter Zimmermann, Ernst Huenges, Simona Regenspurg, Claus Milkereit, Sebastian Heimann, Simone Cesca, Stefan Mikulla, Torsten Dahm, Santiago Aldaz, Jochem Kück, Marco Groh, Martin Töpfer, Arno Zang, Oliver Rach
(GFZ Potsdam)

Vala Hjörleifsdóttir, Bjarni Reykr Kristjánsson, Sandra Osk Snæbjörnsdóttir, Edda Sif Aradóttir (Reykjavik Energy)

Arnaud Mignan, Marco Broccardo, Antonio Rinaldi, Luca Scarabello, Dimitrios Karvounis, Francesco Grigoli, Stefan Wiemer
(ETH Zürich)

Ragnheidur St. Ásgeirsdóttir, Kristján Ágústsson, Rögnvaldur Magnússon, Olafur Flovenz (ISOR)

Sveinbjörn Hólmgeirsson (GeoEnergy Consulting)

Benedikt Jakobsson, Oddgeir Gudnason, Jón Árni Jónsson, Tobías Brynleifsson, Helga Vala Jónsdóttir (Iceland Drilling)

Ivan Kosorok, Francis Ford (Inflatable Packers International)



Motivation: Wärme für Reykjavik



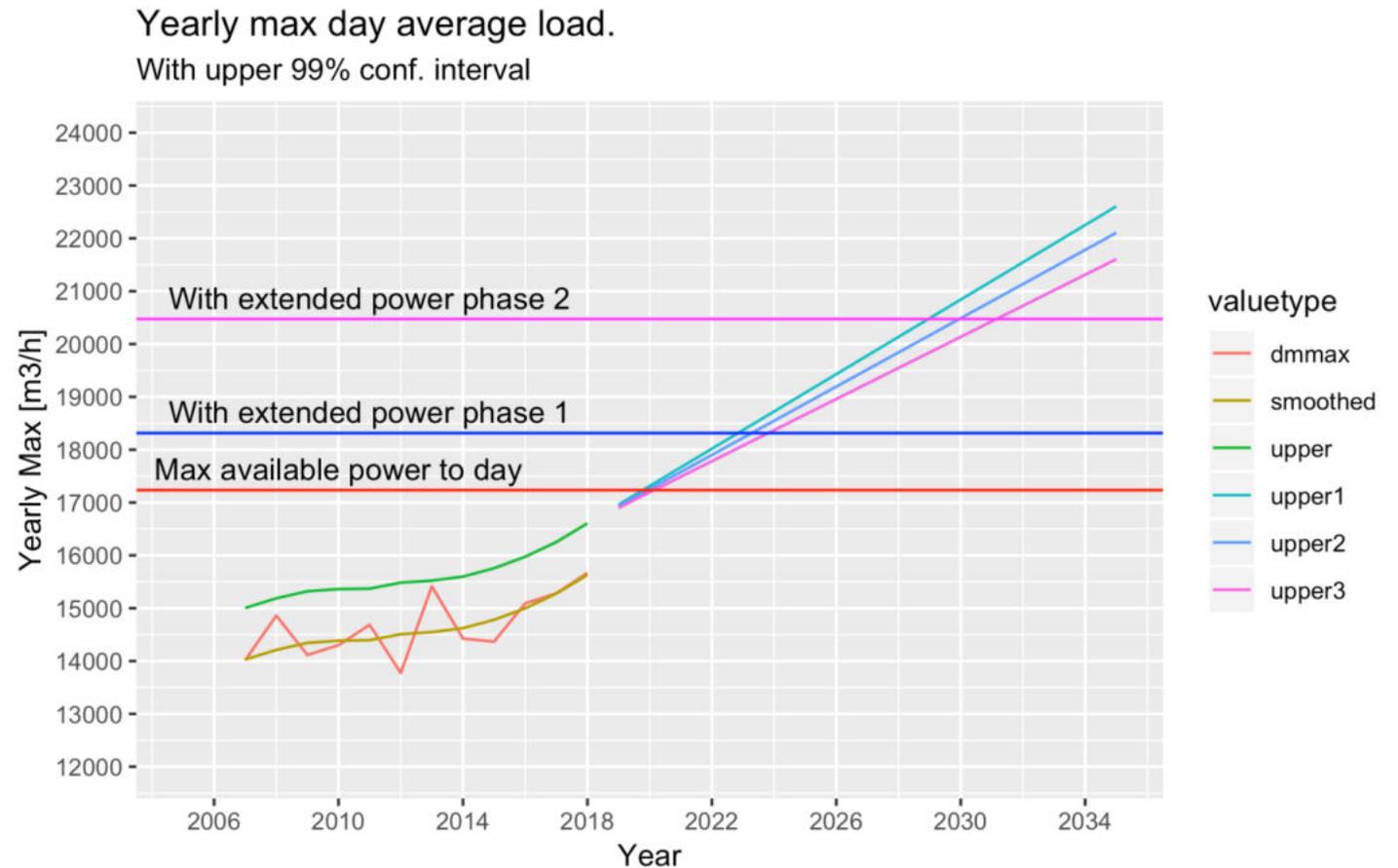
Motivation: Wärme für Reykjavik

- 99.9% des Wärmebedarfs von Reykjavik wird durch Geothermie gedeckt (Gunnlaugsson et al., 2000)
- Die Wärme wird über zwei separate Netzwerke bereitgestellt:
 - Hochtemperatur: Nesjavellir & Hellisheiði
 - Niedertemperatur: Laugarnes, Ellidaar & Mosfellsbær



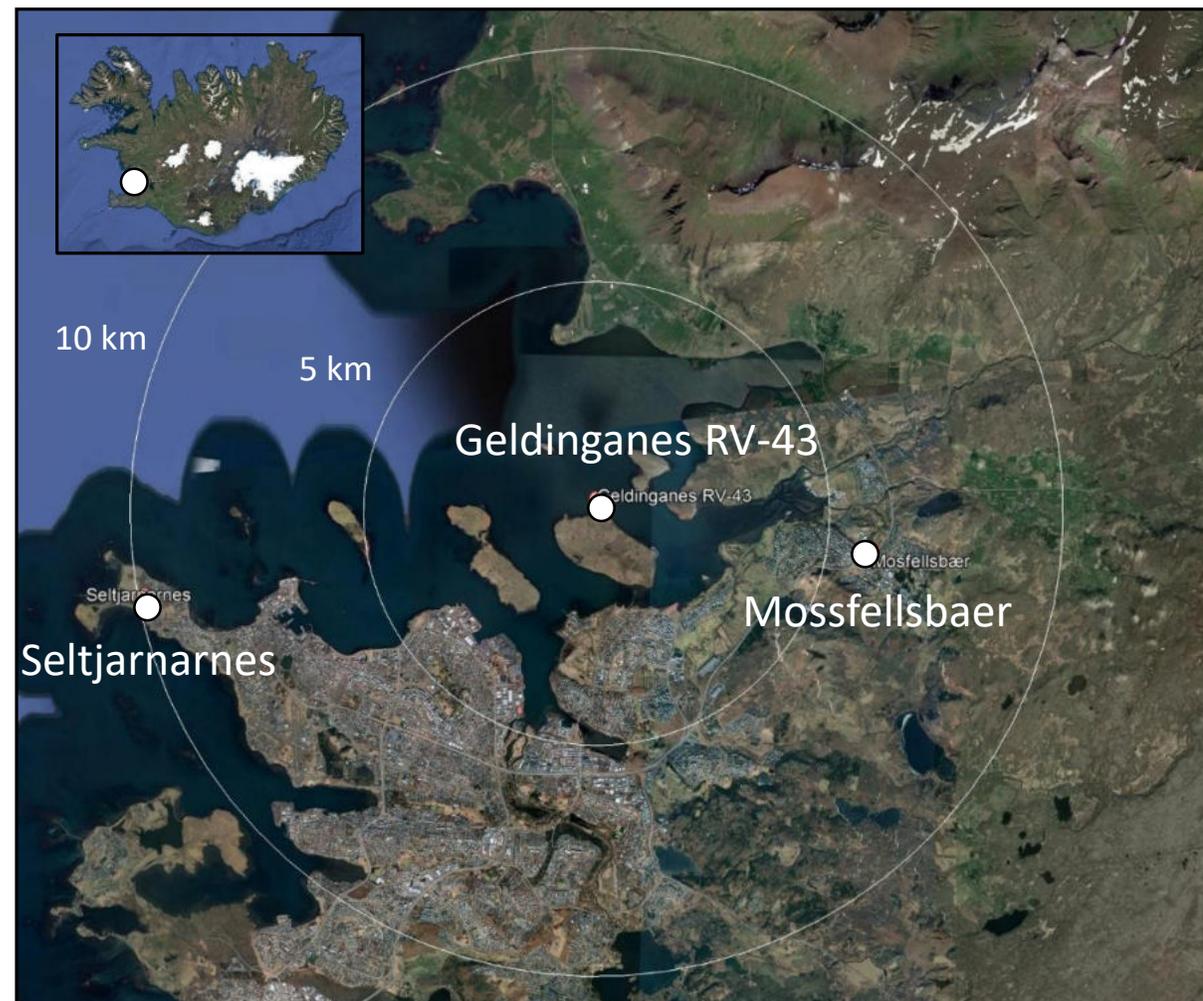
Motivation: Wärme für Reykjavik

- Zukünftiger Wärmebedarf übersteigt vorhandenes Angebot
- Der Wärmebedarf kann gedeckt werden durch:
 - neue Bohrungen
 - **Stimulation vorhandener Bohrungen**



Hintergrund: Historische Stimulationen in Reykjavik

- Hydraulische Stimulationen von Geothermiebohrungen in Island begann Ende der 60er Jahre, erreichte ihren Höhepunkt in den 80er Jahren und wurde dann seltener (Tulinius et al. 1996)
- Mosfellbaer Stimulationen in den 1970ern (Axelsson 2006):
 - 37 Stimulationen
 - Open hole oder Einzelpacker
 - $q=15-100 \text{ l/s}$
 - $P < 15 \text{ MPa}$
 - $t < \text{wenige Tage}$
 - $\text{FOI} = 2-3$

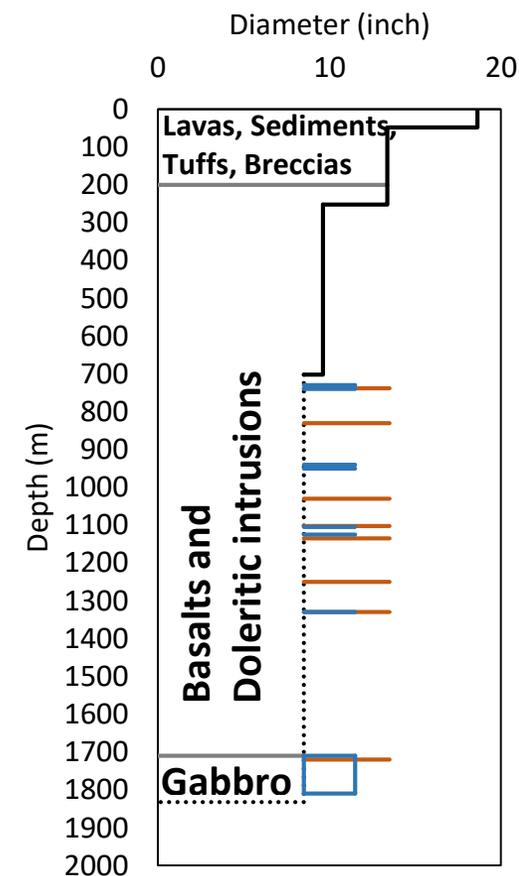
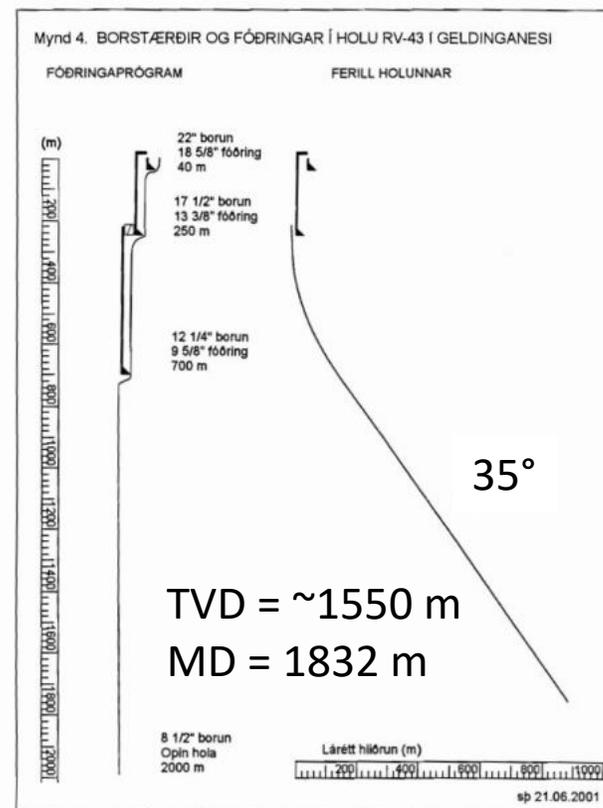
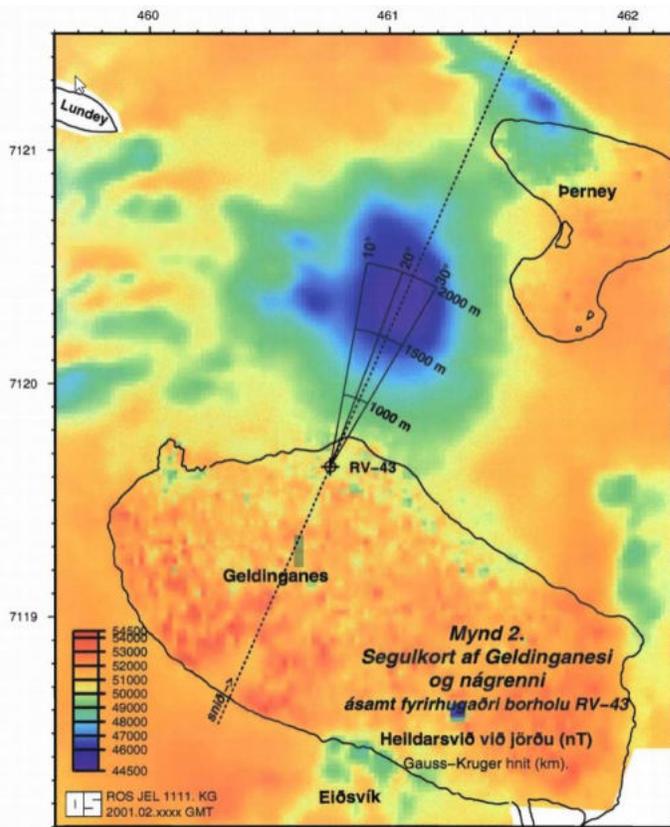
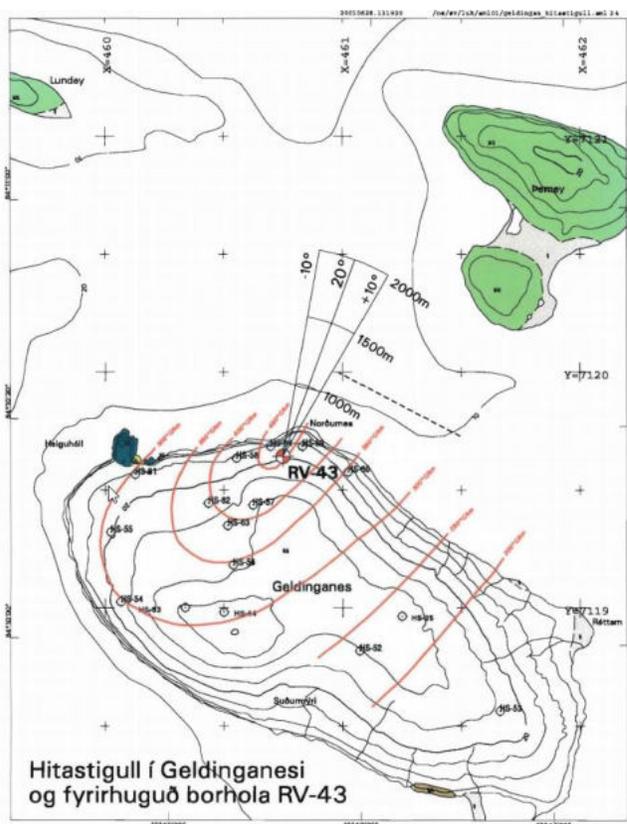


Geldinganes: Standort



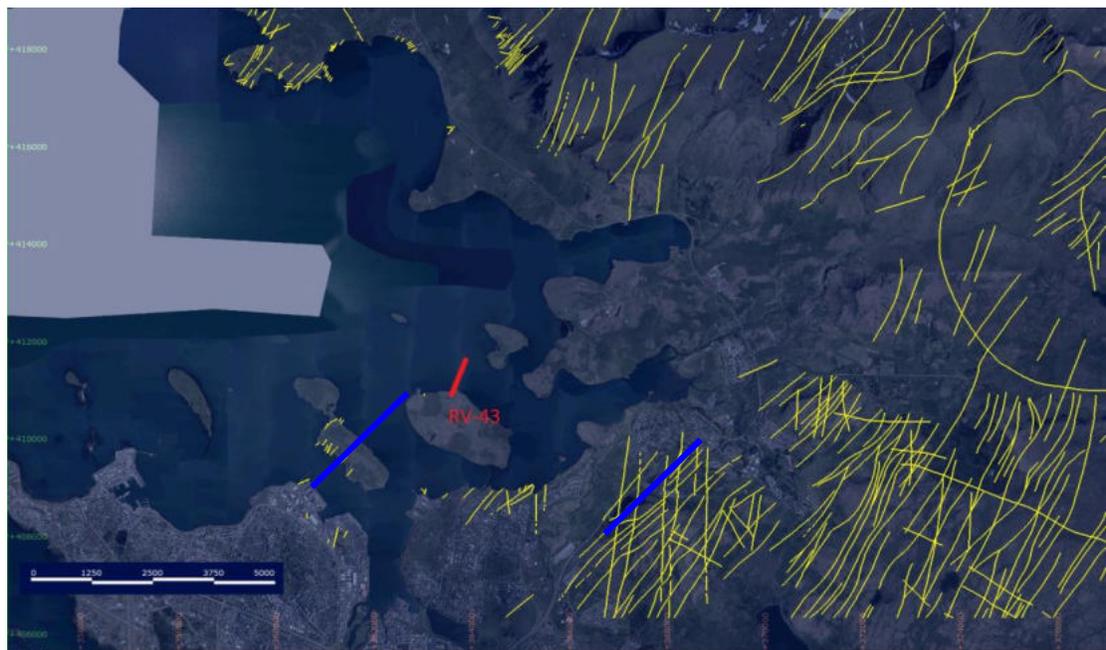
Geldinganes: Bohrung RV-43

- Gebohrt und stimuliert (open hole) in 2001



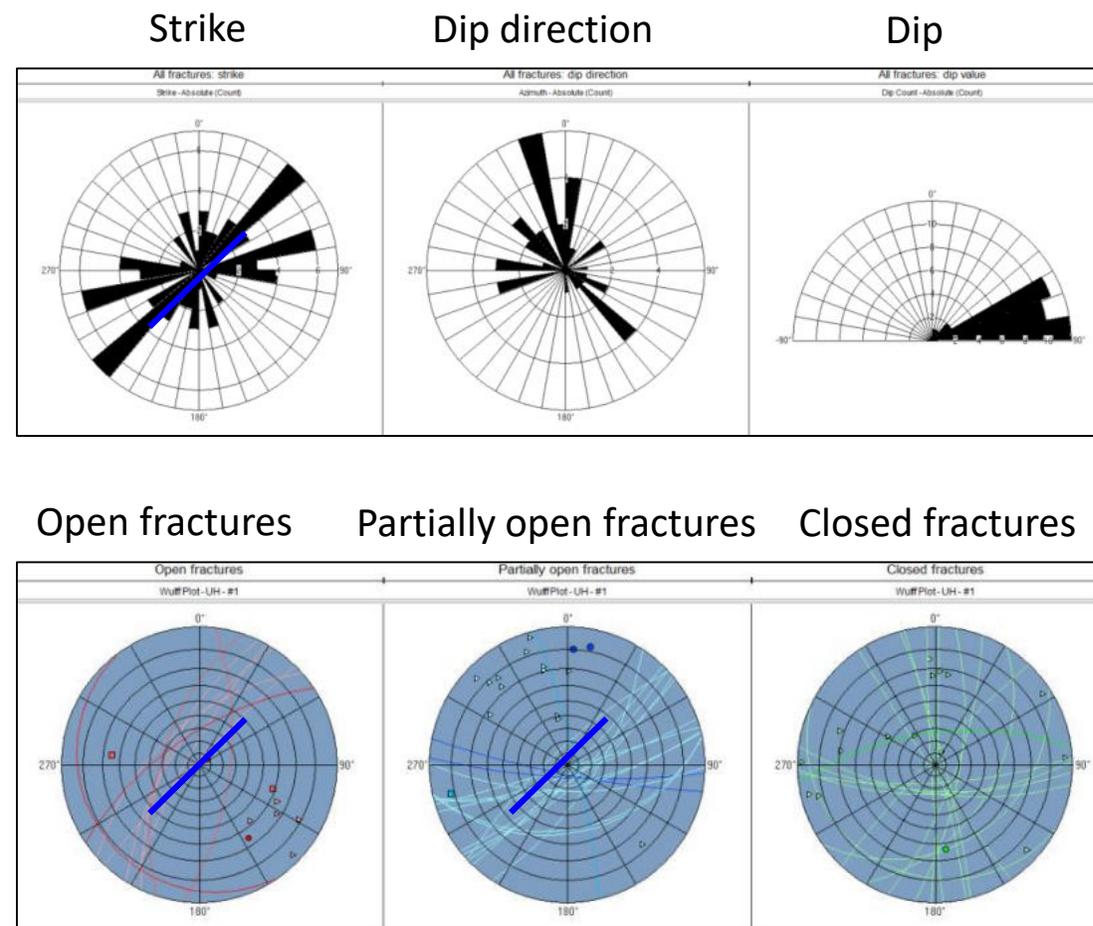
Geldinganes: Strukturgeologie

Kartierte Störungen an der Oberfläche
(Sæmundsson et al. 2016)

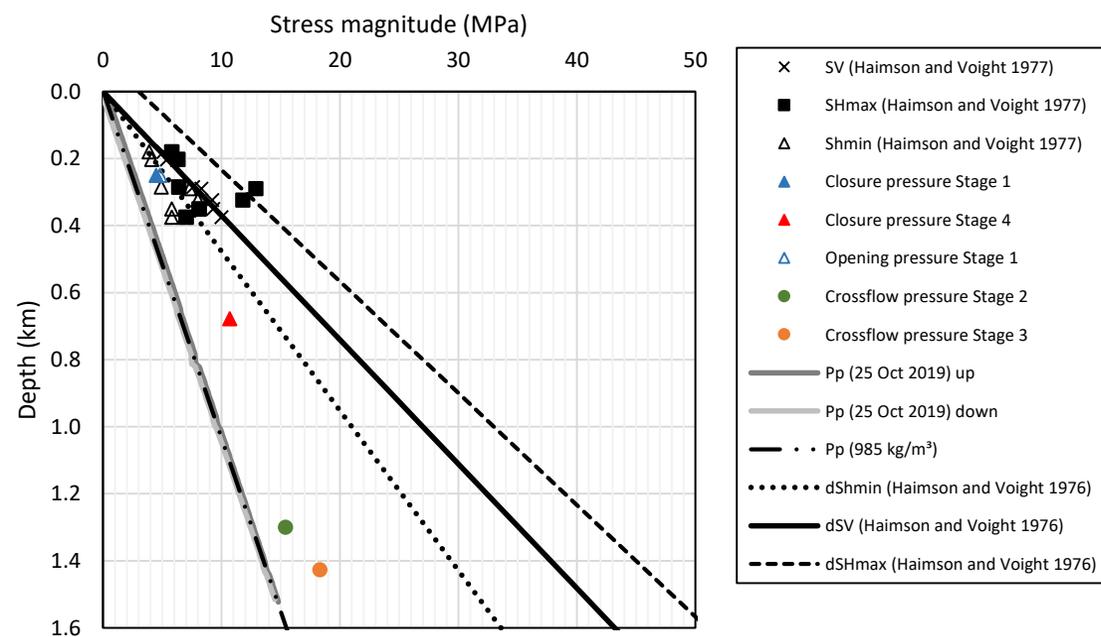


- 2 Störungssysteme
 - ~N5°E und ~N42°E Streichen
 - Subvertikal und teilweise offen
 - Fallen nach NW ein

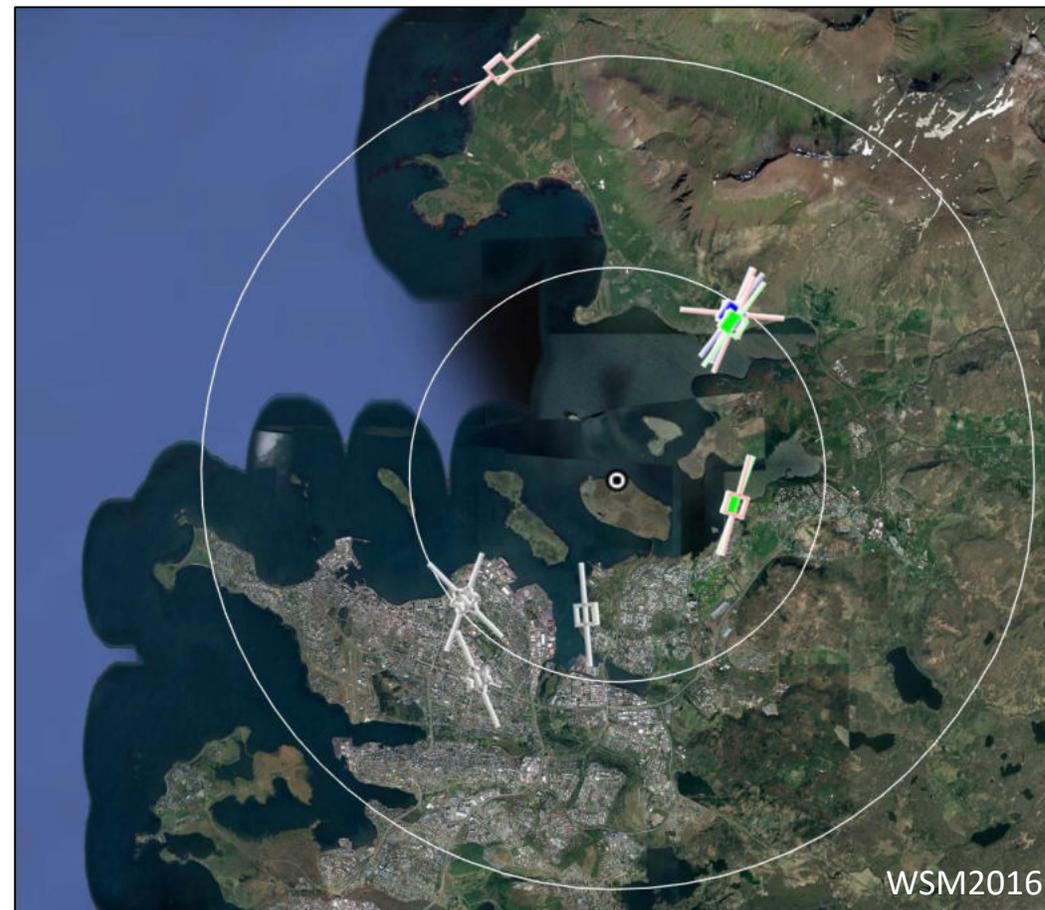
Borehole Televiewer Ergebnisse in RV-43
(2019)



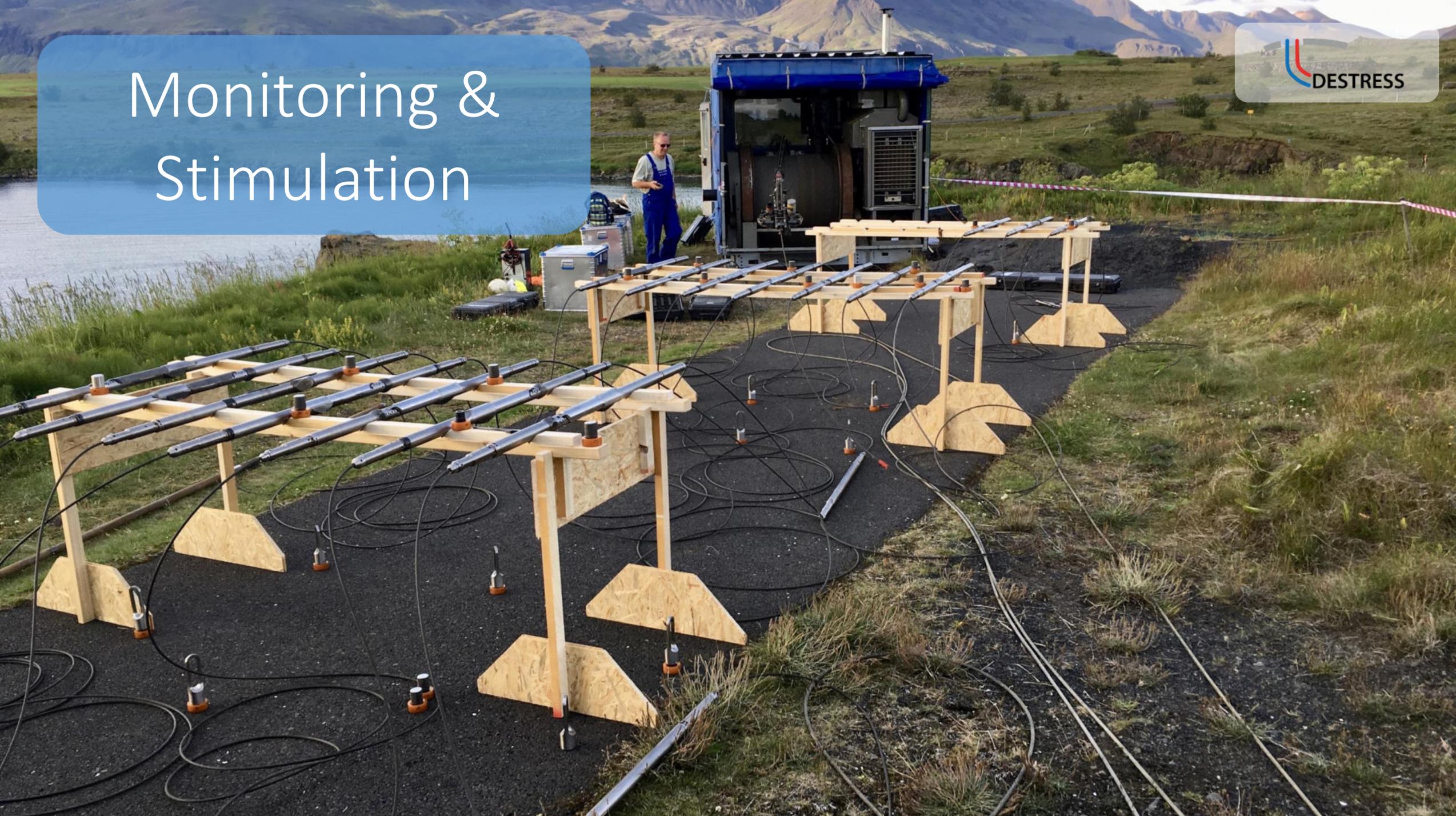
Geldinganes: Spannungsfeld



- Strike-slip regime
- SHmax Richtung NE-NW

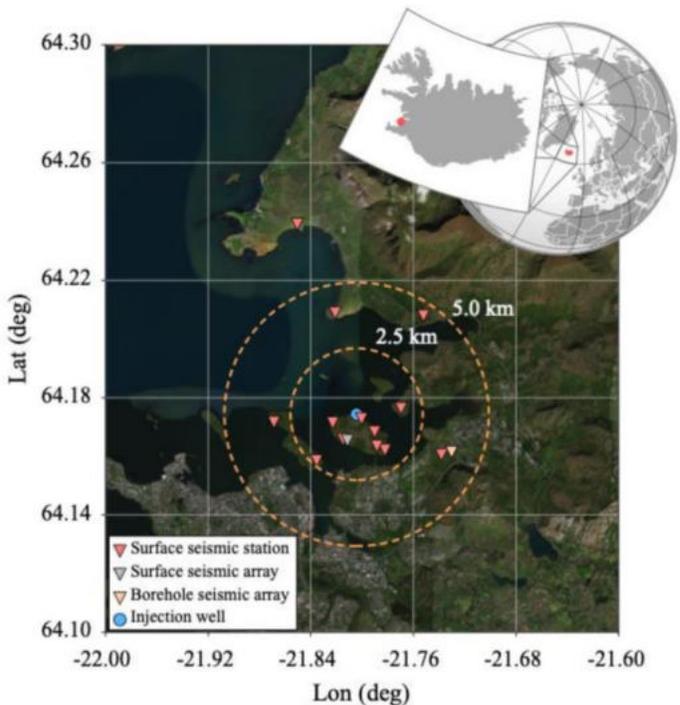


Monitoring & Stimulation

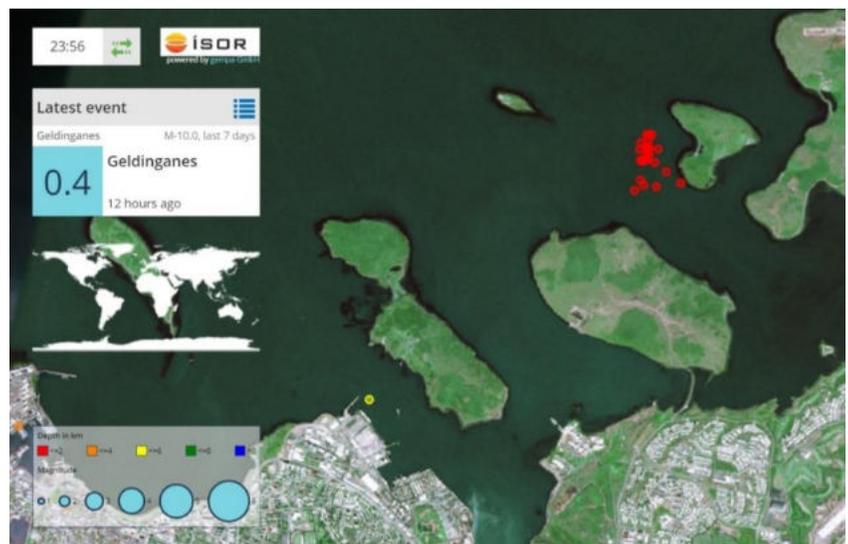


Seismisches Monitoring und Ampelsysteme

Netzwerk

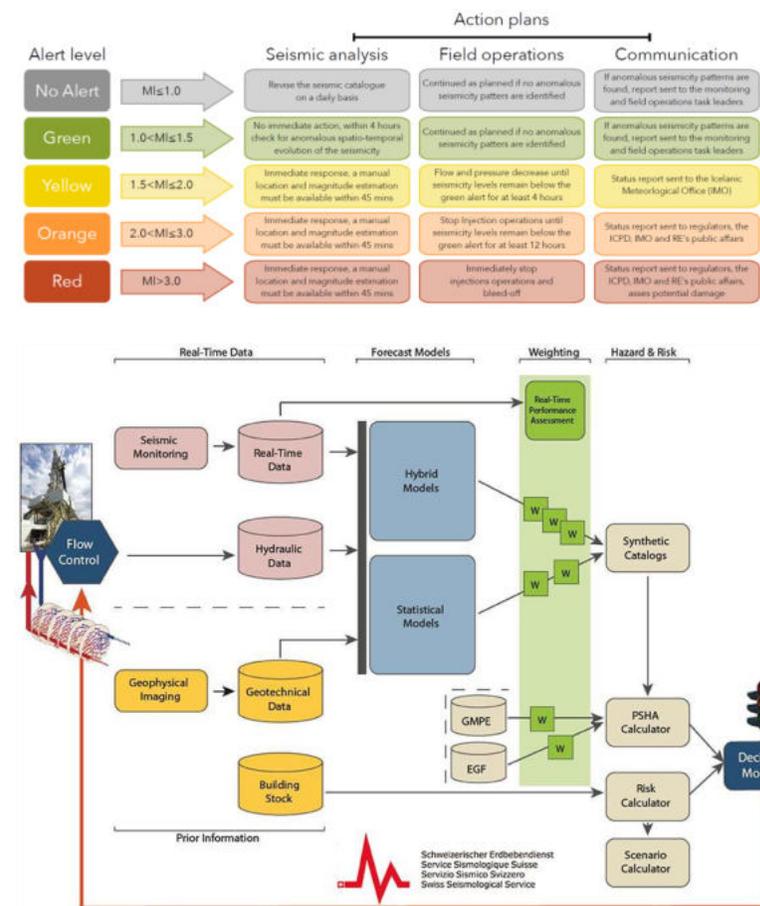


Echtzeitdarstellung auf offener Website

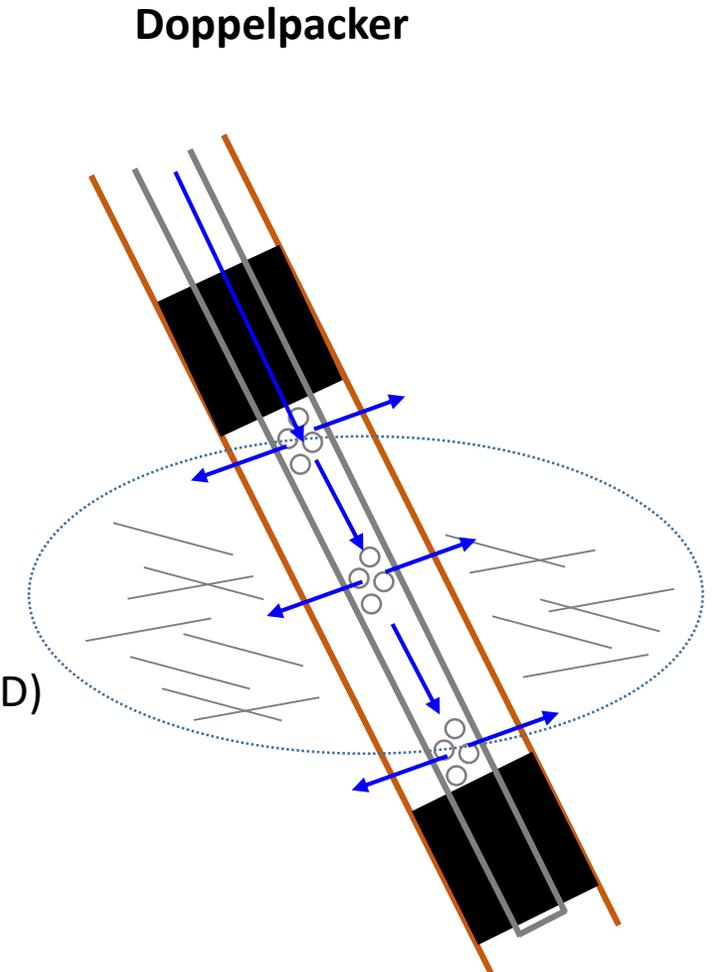
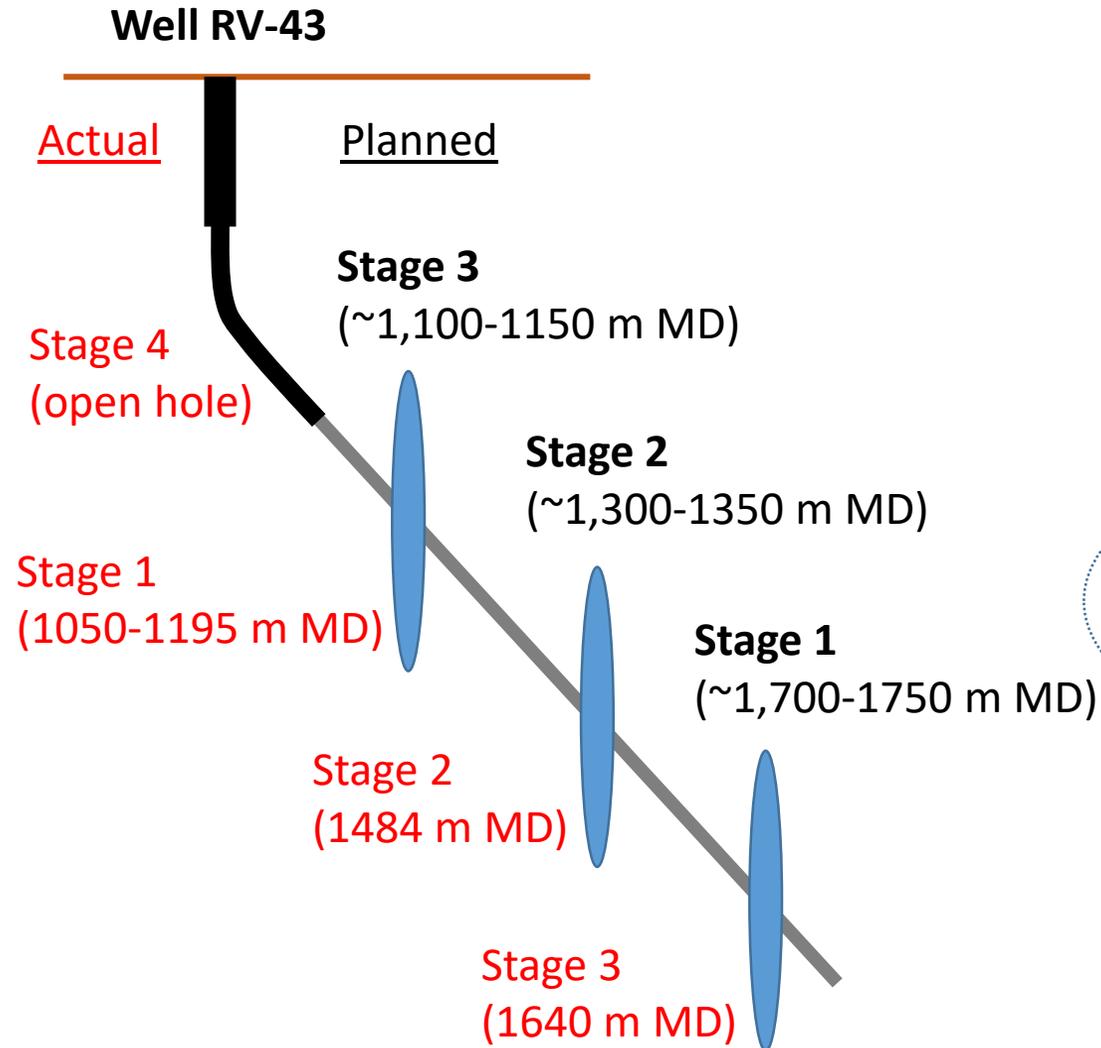
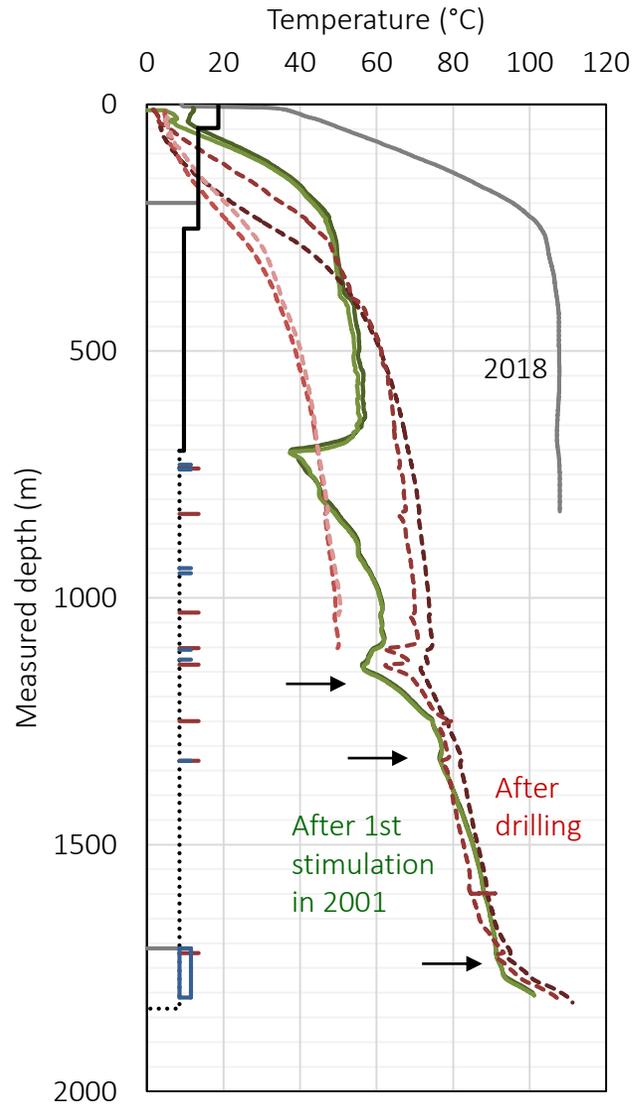


<http://veitur.isor.is/eqview/>

TLS & ATLS



Multi-Stage Stimulation

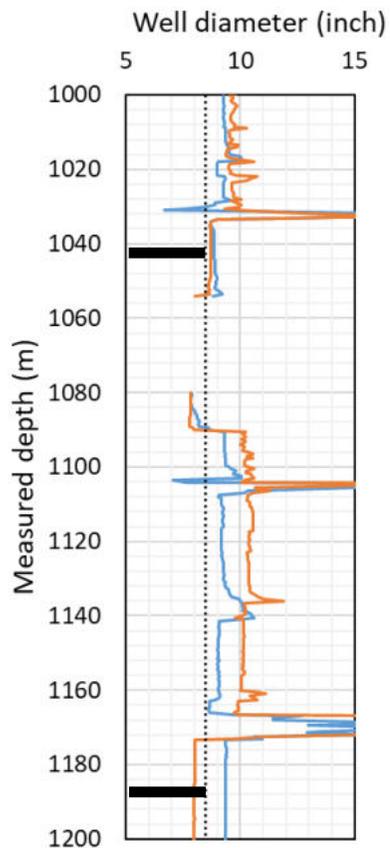


Logging

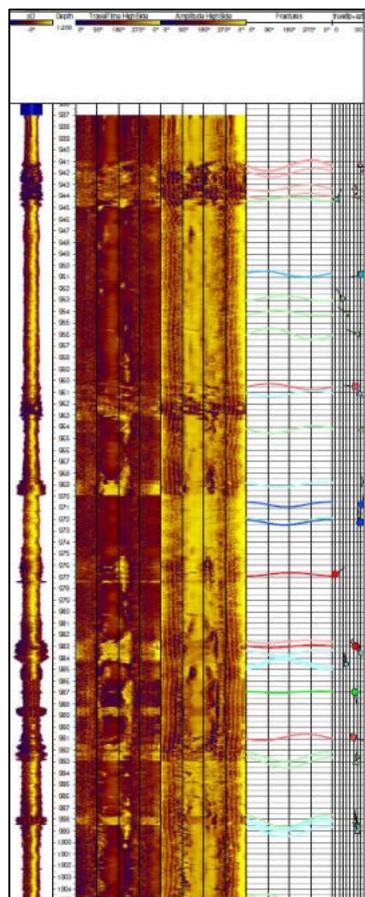


Logging zur Identifizierung geeigneter Packerlokationen

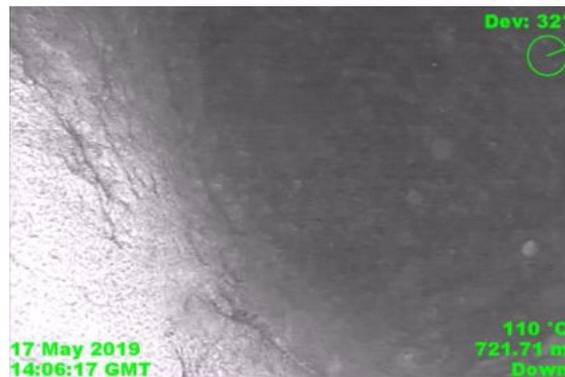
Caliber



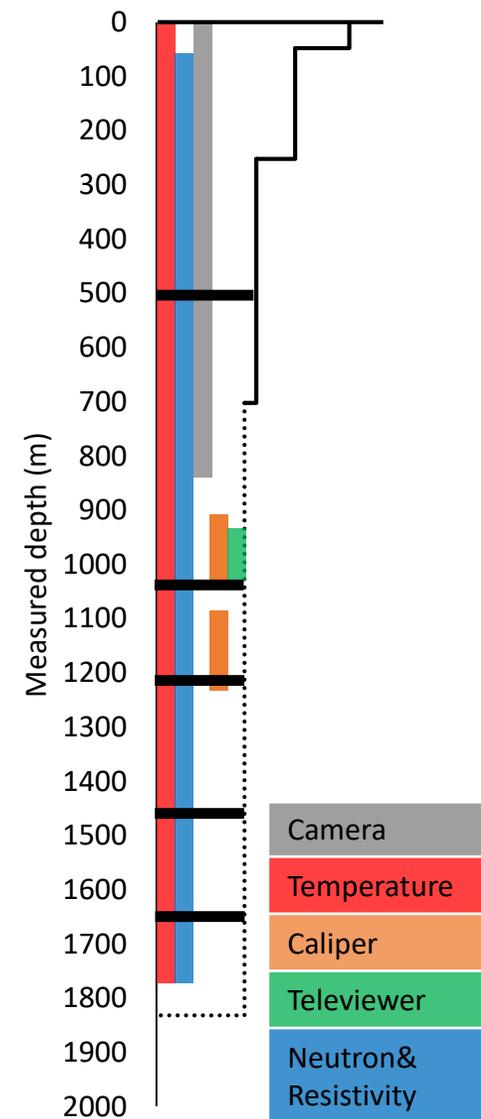
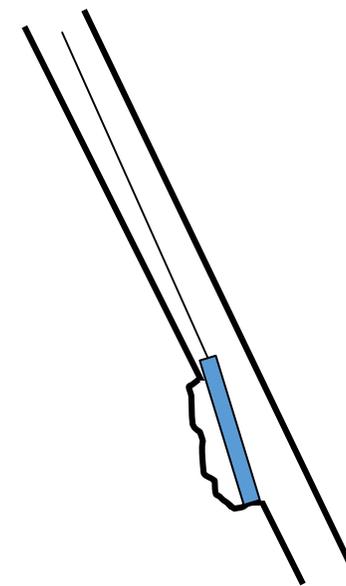
Televiwer



Bohrlochkamera



Problem



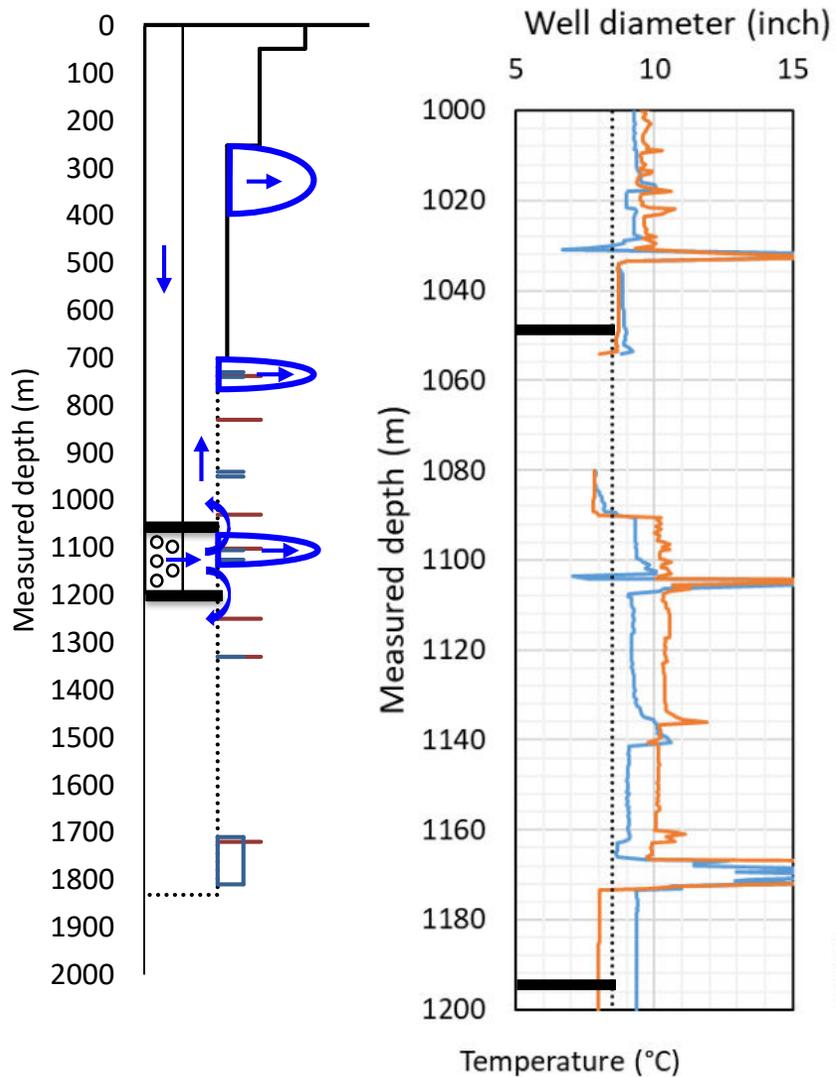
Ergebnisse



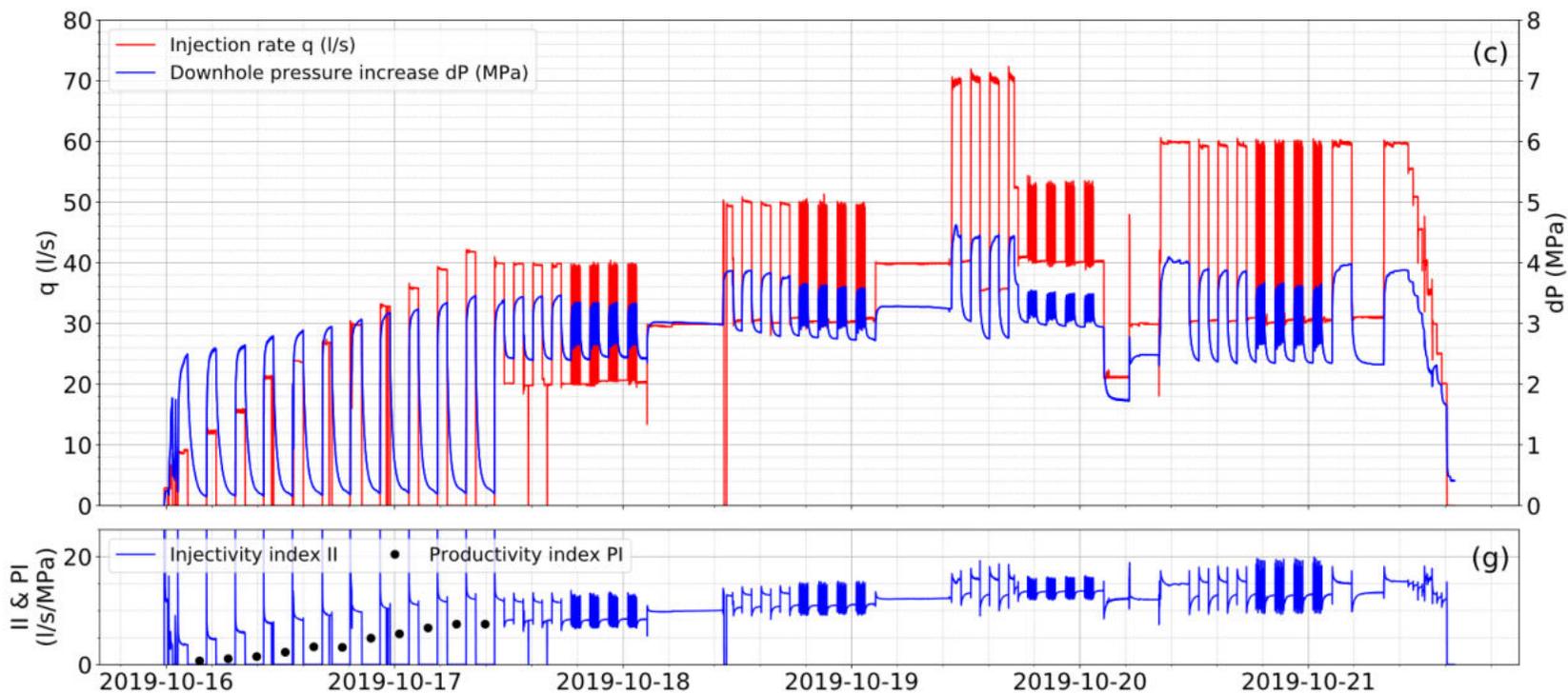
Stage 1 (1050 – 1195 m)



Stage 1: 1050 – 1195 m



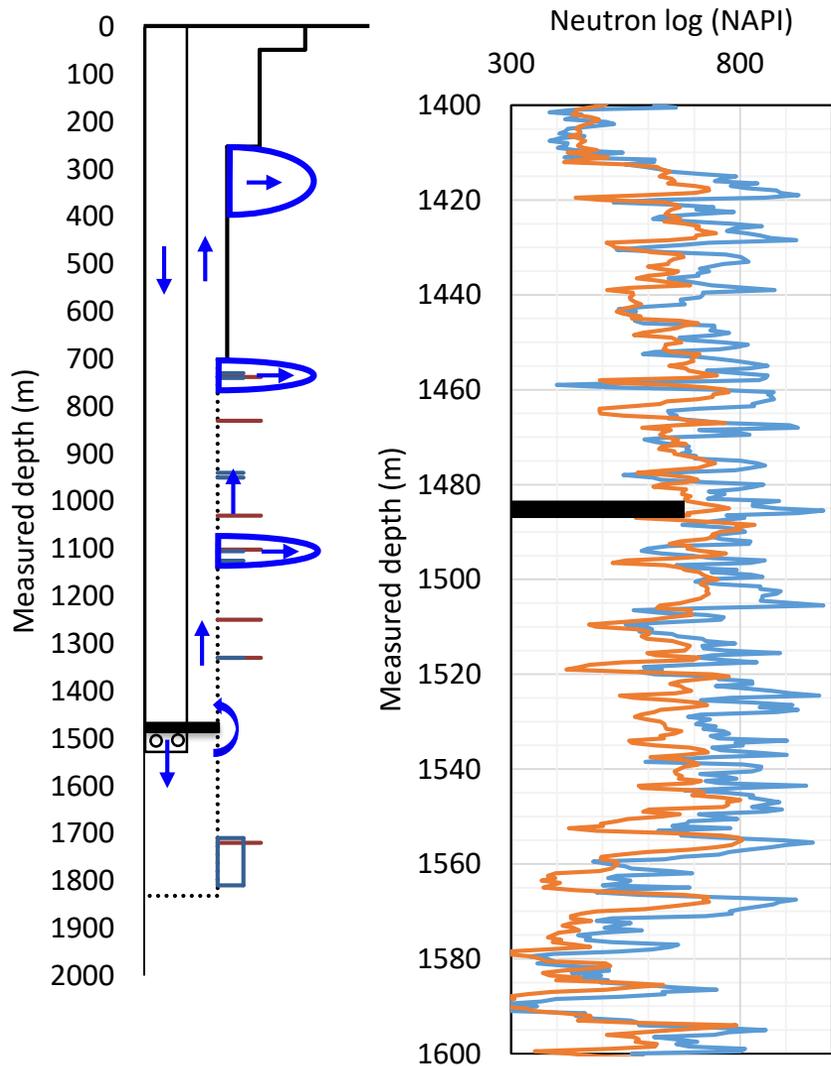
- 14.873 m³ Wasser injiziert in 5.5 Tagen mit nur 4 m³ Flowback
- Vergleich der Injektionsdesigns (Seismizität/Hydraulik)
- Keine Seismizität
- Packerumläufigkeiten von Beginn an, Casing geschädigt in 230-400 m



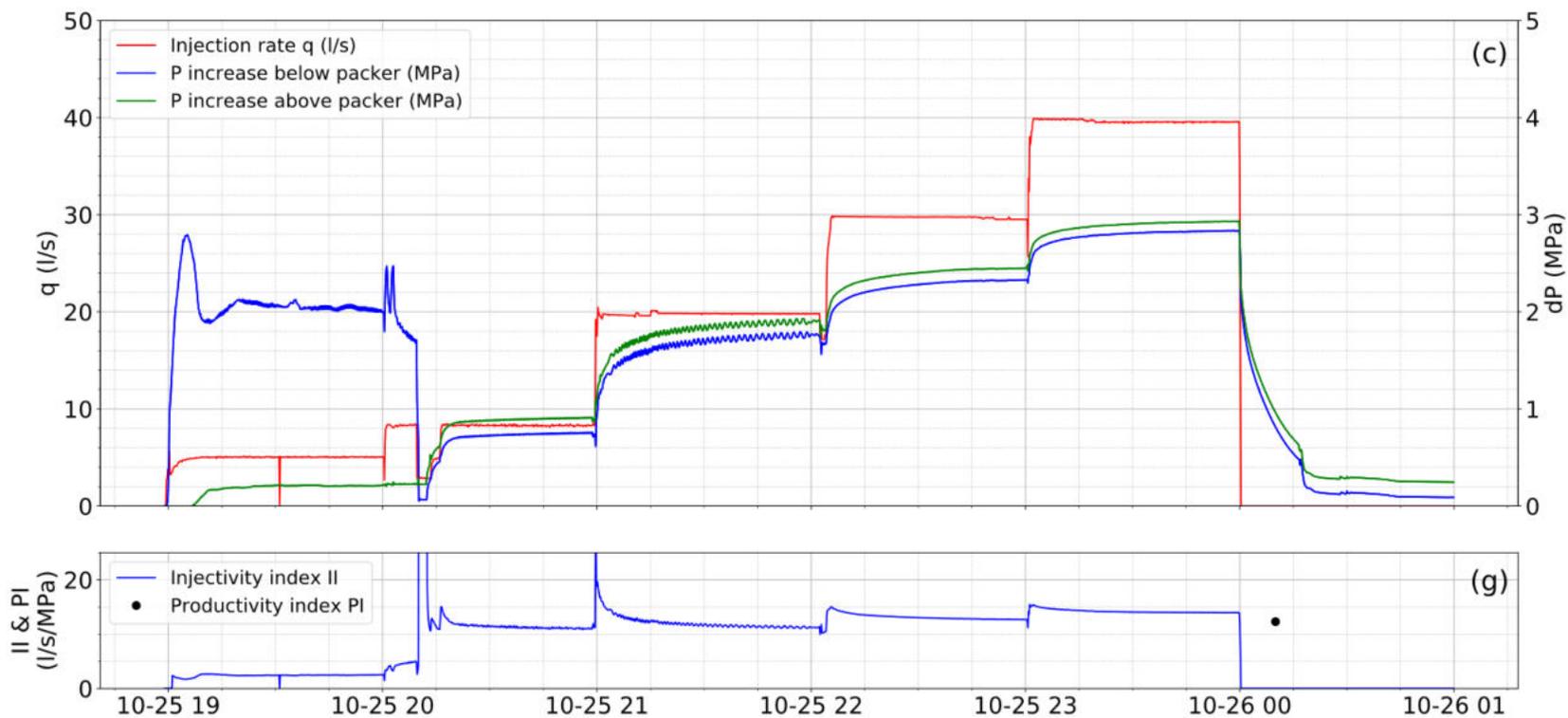
Stage 2
(unter 1484 m)



Stage 2: unter 1484



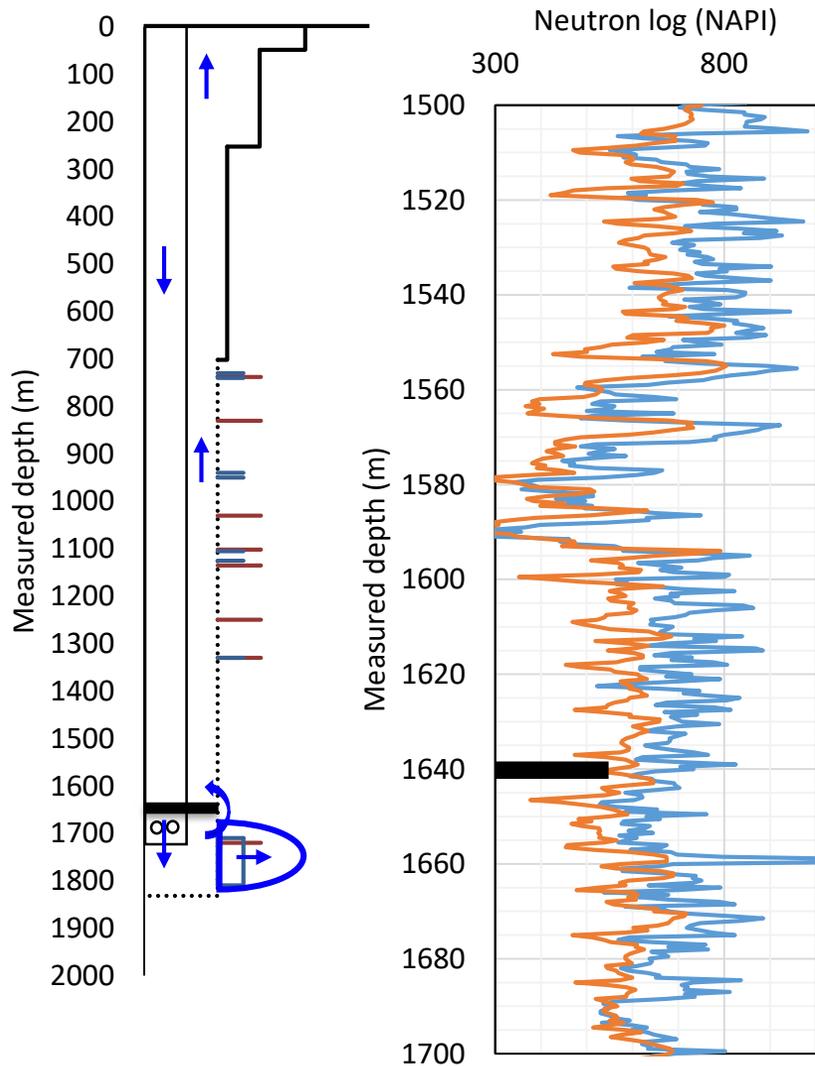
- Nach Stage 1 war Bohrlochreinigung nötig um Zieltiefe zu erreichen
- Packerlokation basierend auf el. Widerstands-, Neutronen-, Temperatur-Logs & Cuttings
- Nach einigen Minuten gab es Packerumläufigkeiten



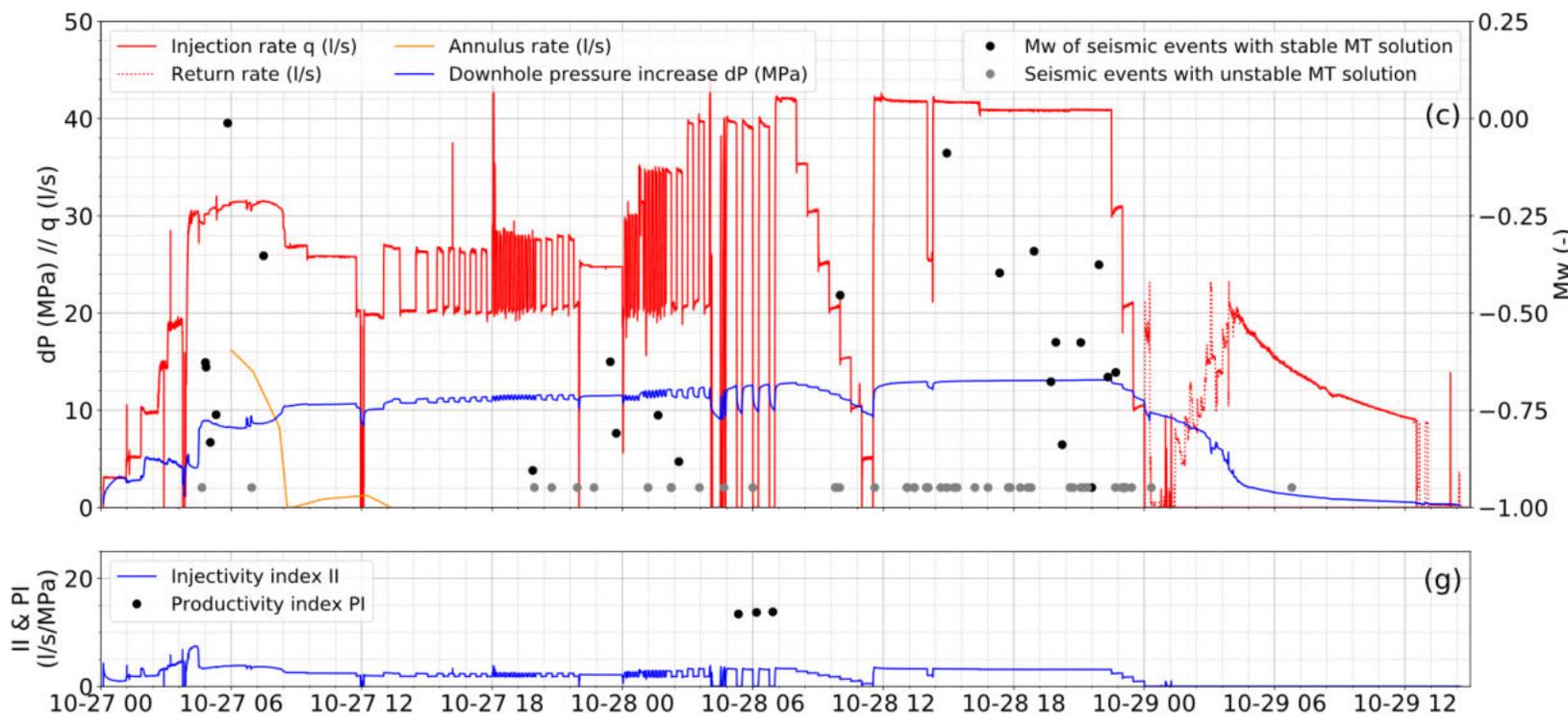
Stage 3 (unter 1640 m)



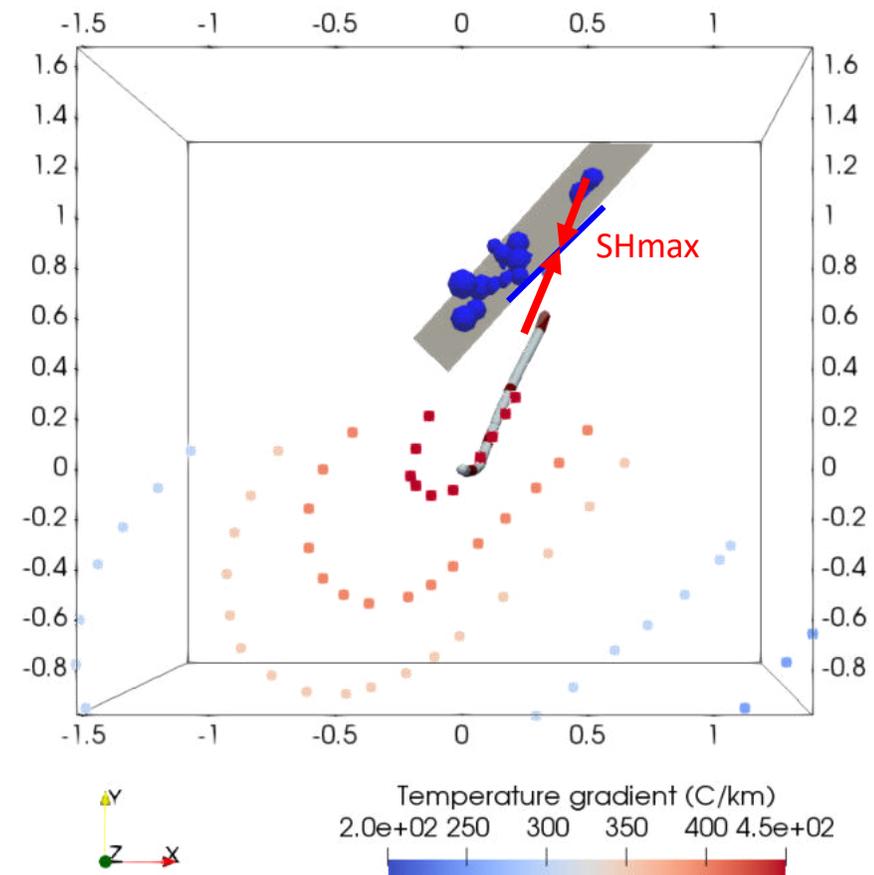
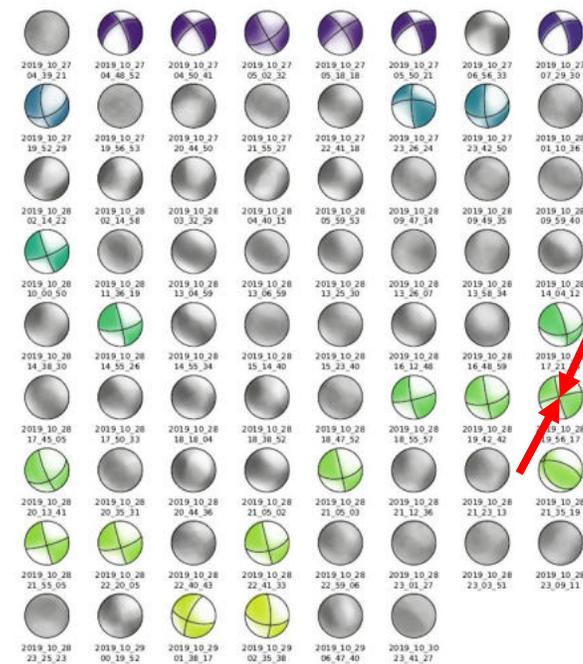
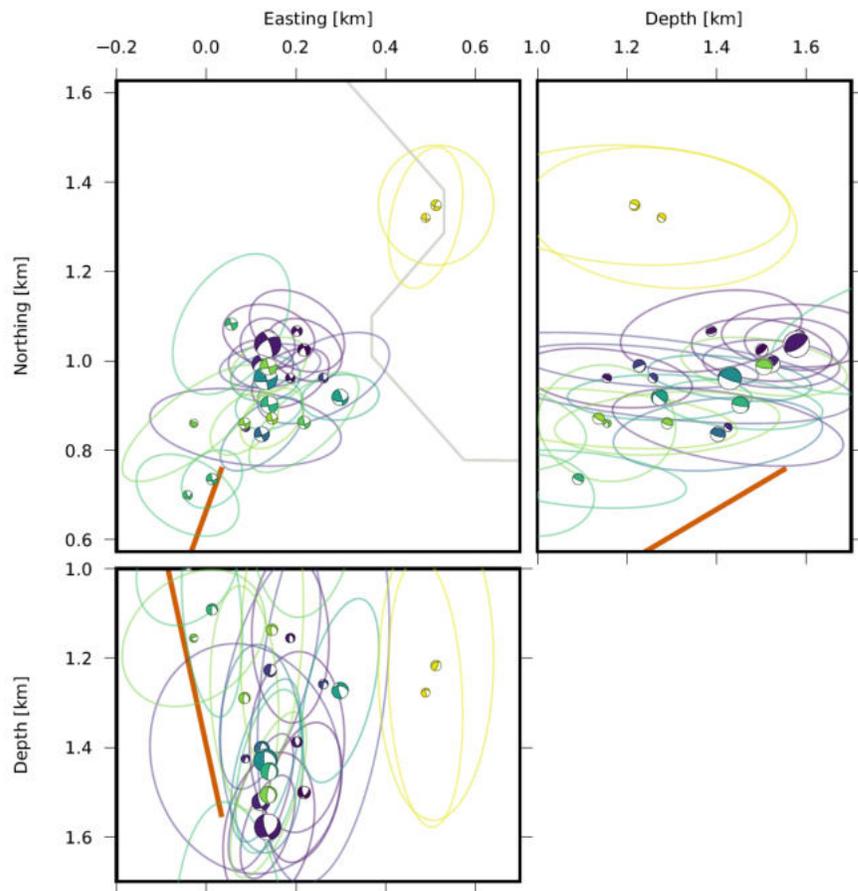
Stage 3: unter 1640 m



- 4807 m³ Wasser injiziert in 2 Tagen mit >534 m³ Flowback
- Nach anfänglichen Umläufigkeiten hielt der Packer dicht
- Seismizität nach Druckanstieg
- Geringere Seismizität in zyklischen Injektionsphasen

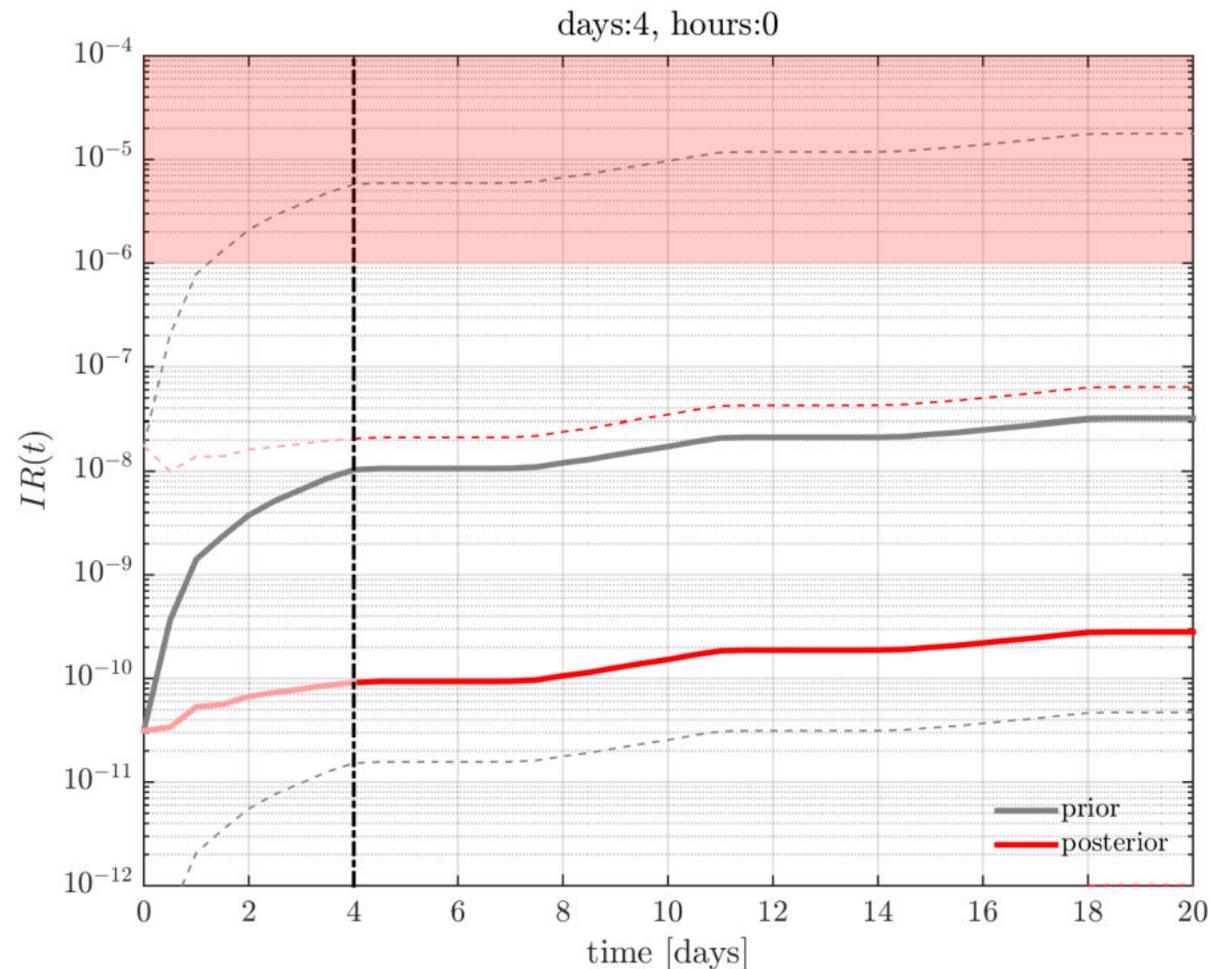


Stage 3: Induzierte Seismizität



Stage 3: Adaptive Traffic Light System nach 4 Tagen

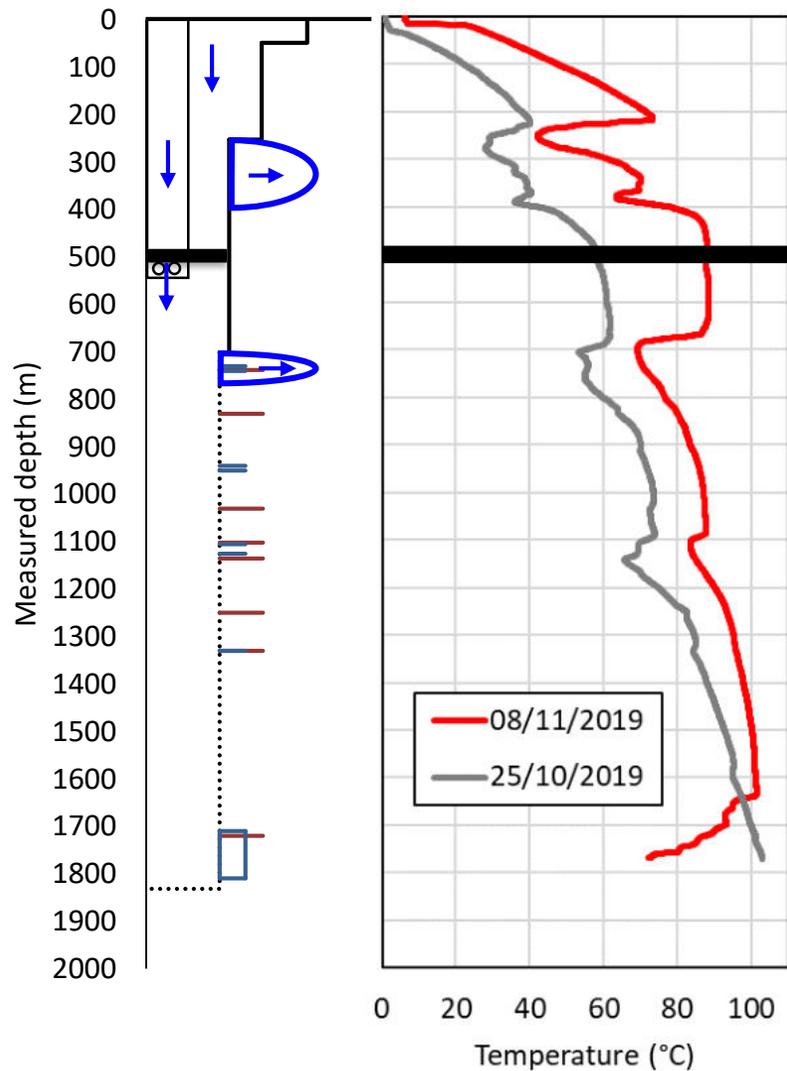
- Geringe Magnituden haben das individuelle Risiko (IR) stark reduziert
- Geringe Anzahl seismischer Events hat die Unsicherheit kaum verbessert
- Workflow das erste mal unter realen Bedingungen demonstriert



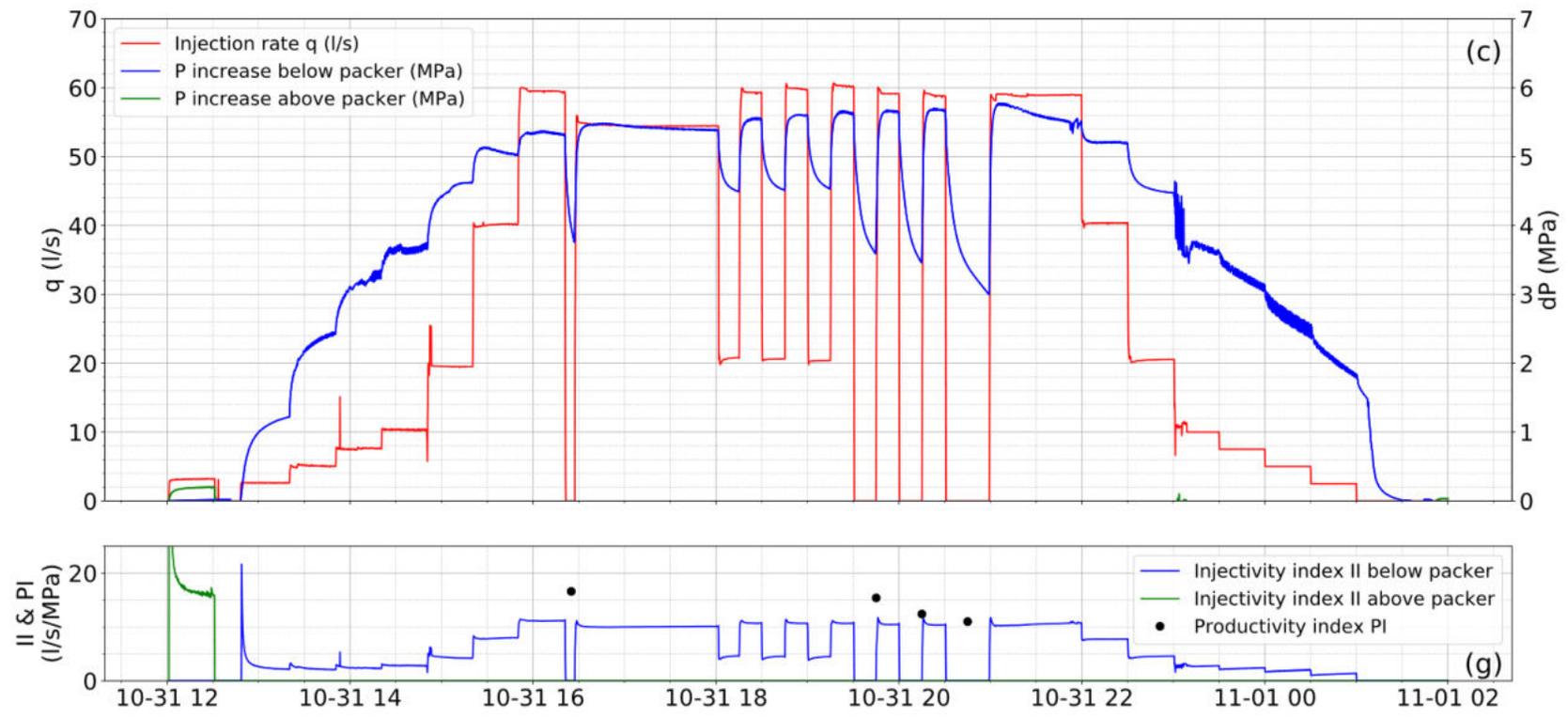
Stage 4 (über/unter 500 m)



Stage 4: über/unter 500 m



- Integritätstest hat Casingschaden bestätigt
- Open hole Injektion hat Injektivitäts-/Produktivitätserhöhung bestätigt
- 1261 m³ Wasser injiziert in ~1/2 Tag



Zusammenfassung



Zusammenfassung

- **Zielgerichtete Isolation mit open hole Packern und Bohrlochintegritätsproblemen herausfordernd**
 - Mindestanforderung: Temperatur, Caliber, Televiwer logs, Integritätstests
 - Besser: Bohrlochausbau für Stimulation
- **Injektivität/Produktivität der Bohrung RV-43 ist druckabhängig und wurde erhöht**
 - Teilweise durch Undichtigkeit des Casings
 - Ineffizient durch Packerumläufigkeiten und limitierten Loggingmöglichkeiten
 - Hohe Fließraten/Drücke für kurze Zeit wichtig
- **Induzierte Seismizität war sehr gering**
 - Wissen über seismische Risiken in zukünftigen Projekten verbessert (relativ gering)
 - Workflows für Risikoanalyse und -management demonstriert (z.B. Echtzeitmonitoring, TLS, ATLS)
- **Wissen über lokale Geologie wurde verbessert**
 - Strike-Slip Regime mit SHmax \sim N30°E und \sim N42°E streichende Störungszone
 - Neue Bohrung Richtung NNW um existierende Rissysteme zu durchteufen
- **→ Hydraulische Stimulation kann eine effiziente Methode zur Produktivitätssteigerung von Geothermiebohrungen in Reykjavik sein**

Liability claim

The European Union and its Innovation and Networks Executive Agency (INEA) are not responsible for any use that may be made of the information any communication activity contains.

The content of this publication does not reflect the official opinion of the European Union. Responsibility for the information and views expressed in the therein lies entirely with the author(s).

DESTRESS is co-funded by

National Research Foundation of Korea (NRF)

Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT)

Swiss State Secretariat for Education, Research and Innovation (SERI)