

geomecon GmbH

TU BERGAKADEMIE FREIBERG

GFZ Helmholtz-Zentrum POTSDAM

RUB

a) S_H hydro fractures (tensile fractures) P_{inj} borehole breakouts (compressive failure) S_h

b) P_o pressure diffusion

fracture flow height x_f length h_f injection production

frictional sliding (i) increase in fracture width (ii) fracture extension for example wing-cracking

expert equation

$$P_{th} = \Delta T \cdot Q \cdot C_f \cdot S_f$$

limited by drilling costs

alternatives to water

the crucial factor; we need ≥ 30 L/s to reach economic operation

STIMTEC

TOBIAS BACKERS, MARCO BOHNHOFF, GEORG DRESEN,
HEINZ KONIETZKY, **JÖRG RENNER** | 21.11.2017

für die Förderung vielen Dank an



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



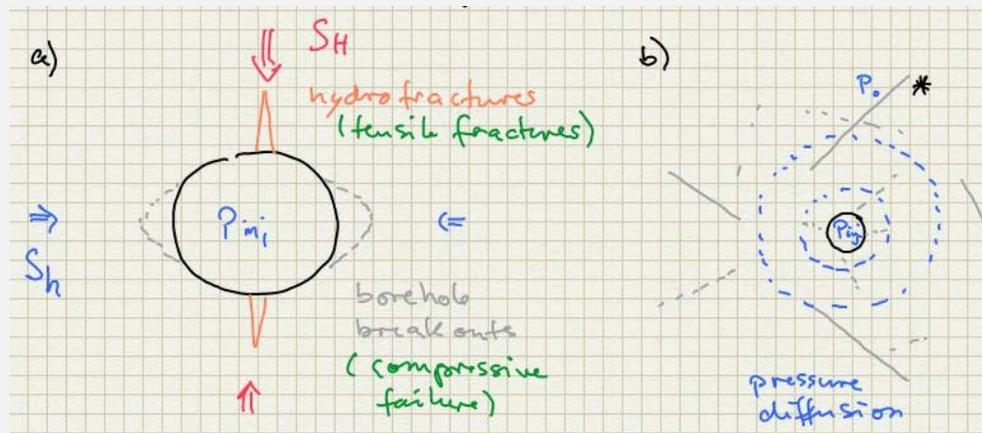
STIMmulationstests mit charakterisierenden periodischen Pumpversuchen und hochauflösender seismischer Überwachung: Verbesserung von Prognosemodellen und Echtzeit-Überwachungs-TEChnologien für die Erzeugung von Wasserwegsamkeiten im Kristallingestein

- Worum geht es? hydraulische Stimulationen
- Wer sind wir? Antragsteller, weitere Beteiligte
- Was haben wir vor? Ort, Struktur, Spannungszustand
- Wo stehen wir? Aufbau, physikalische Eigenschaften
- Was kommt als Nächstes?

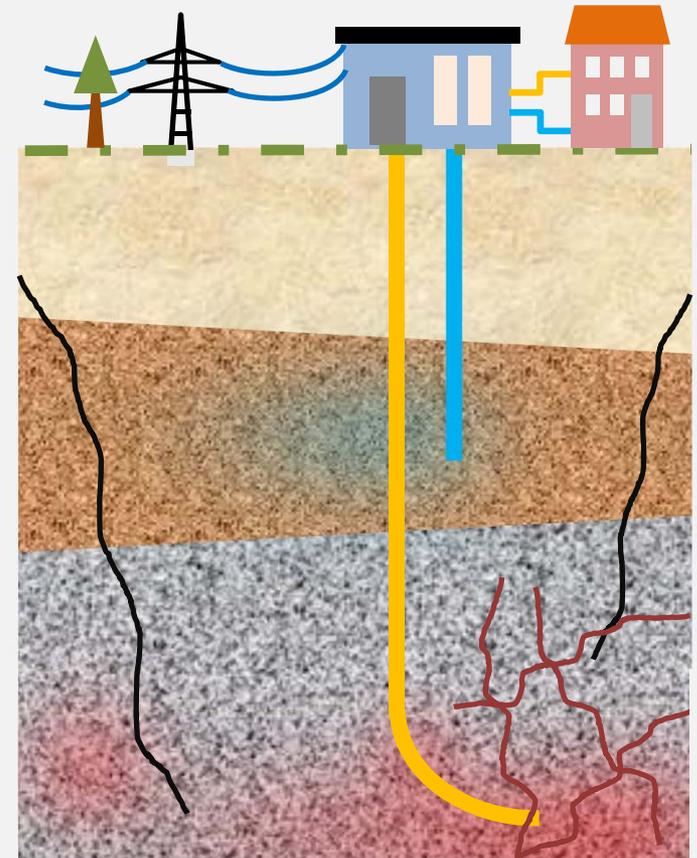
hydraulische Stimulationen

Ziel: Wegsamkeiten für Fluide schaffen

Vorgehen: Fluidinjektion in Bohrlöcher



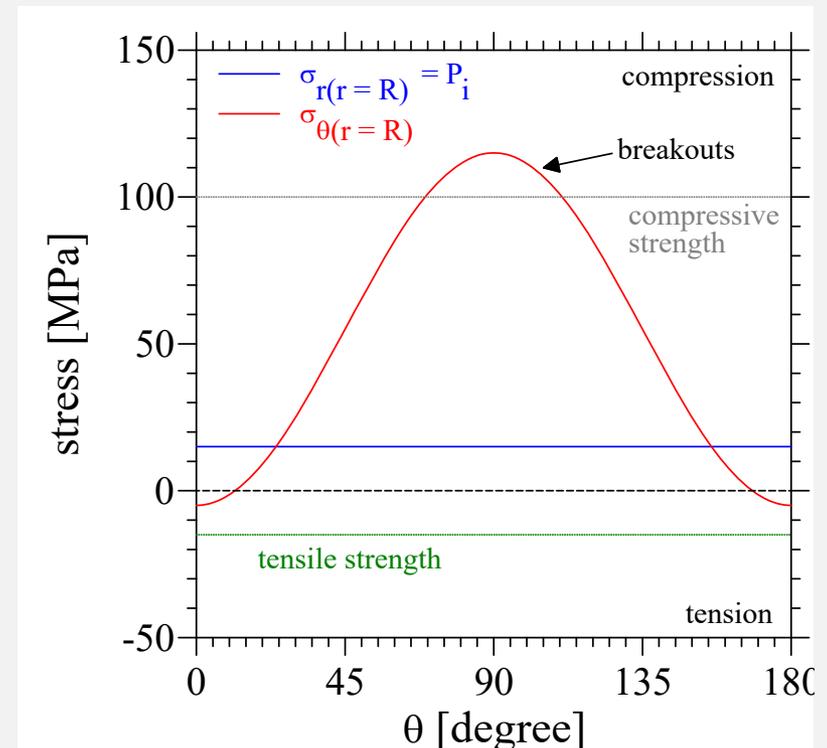
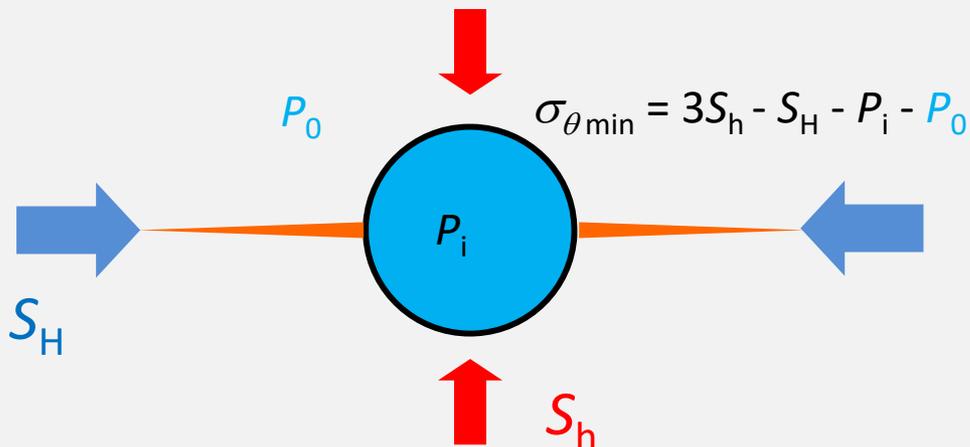
Probleme: Vorhersagbarkeit
 Steuerung
 induzierte Seismizität



hydraulische Stimulationen: 2 „Endglieder“

klassisches hydraulisches Zerreißen (hydraulic fracturing)

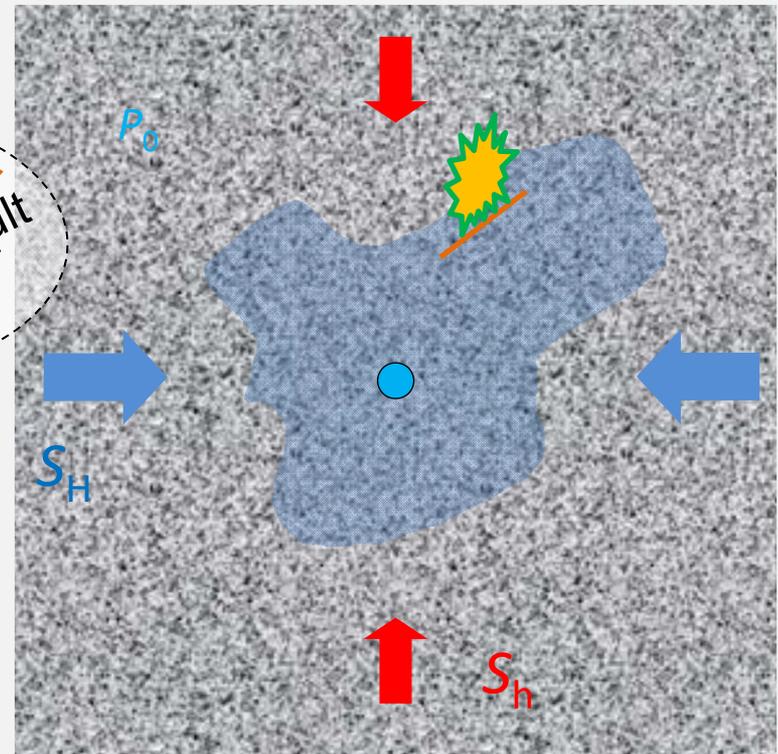
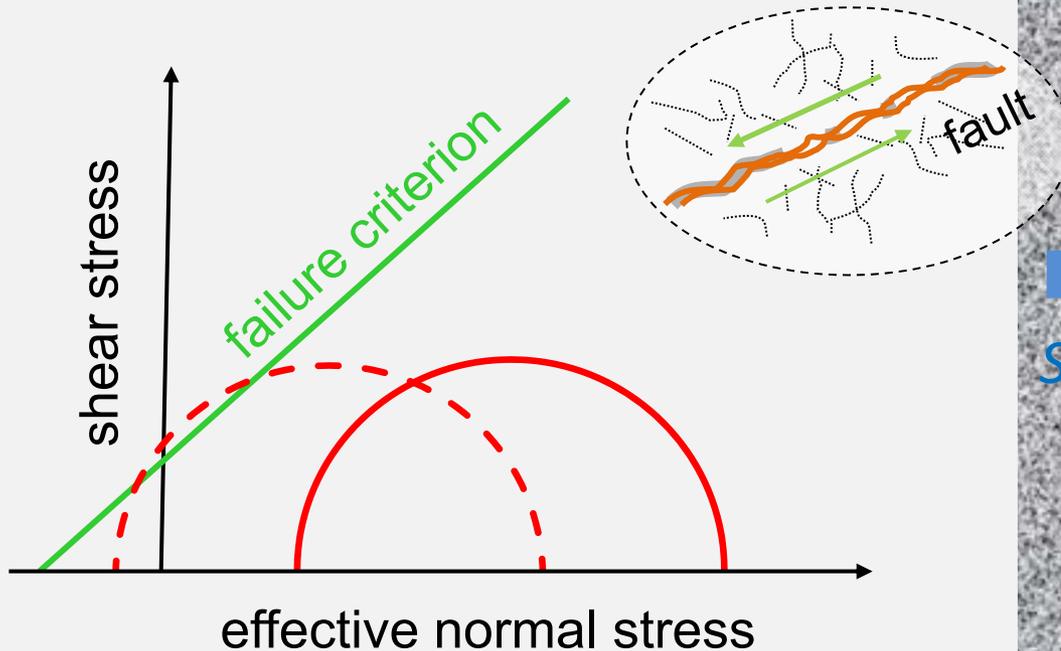
- Nutzen der Spannungskonzentration an der Bohrlochwand
=> **Zugrisse**, auf denen die kleinste Hauptspannung senkrecht steht
- braucht kurzfristig hohe Pumpenkapazität
- tendenziell „geringe“ induzierte Seismizität
- hydraulischer Gewinn?
=> Schließen des Risses, wenn Pumpendruck unter Normalspannung auf Riss fällt (Selbststützung?)



hydraulische Stimulationen: 2 „Endglieder“

Aktivierung vorhandener Störungen/Schwächezonen

- Nutzen des Effektivdruckgesetzes für Festigkeiten
=> Scherversagen
- braucht „langes“ Pumpen aber mit „geringer“ Rate
- potentiell „massive“ induzierte Seismizität
- hydraulischer Gewinn
=> Dilation beim Scheren, Rissrauigkeit



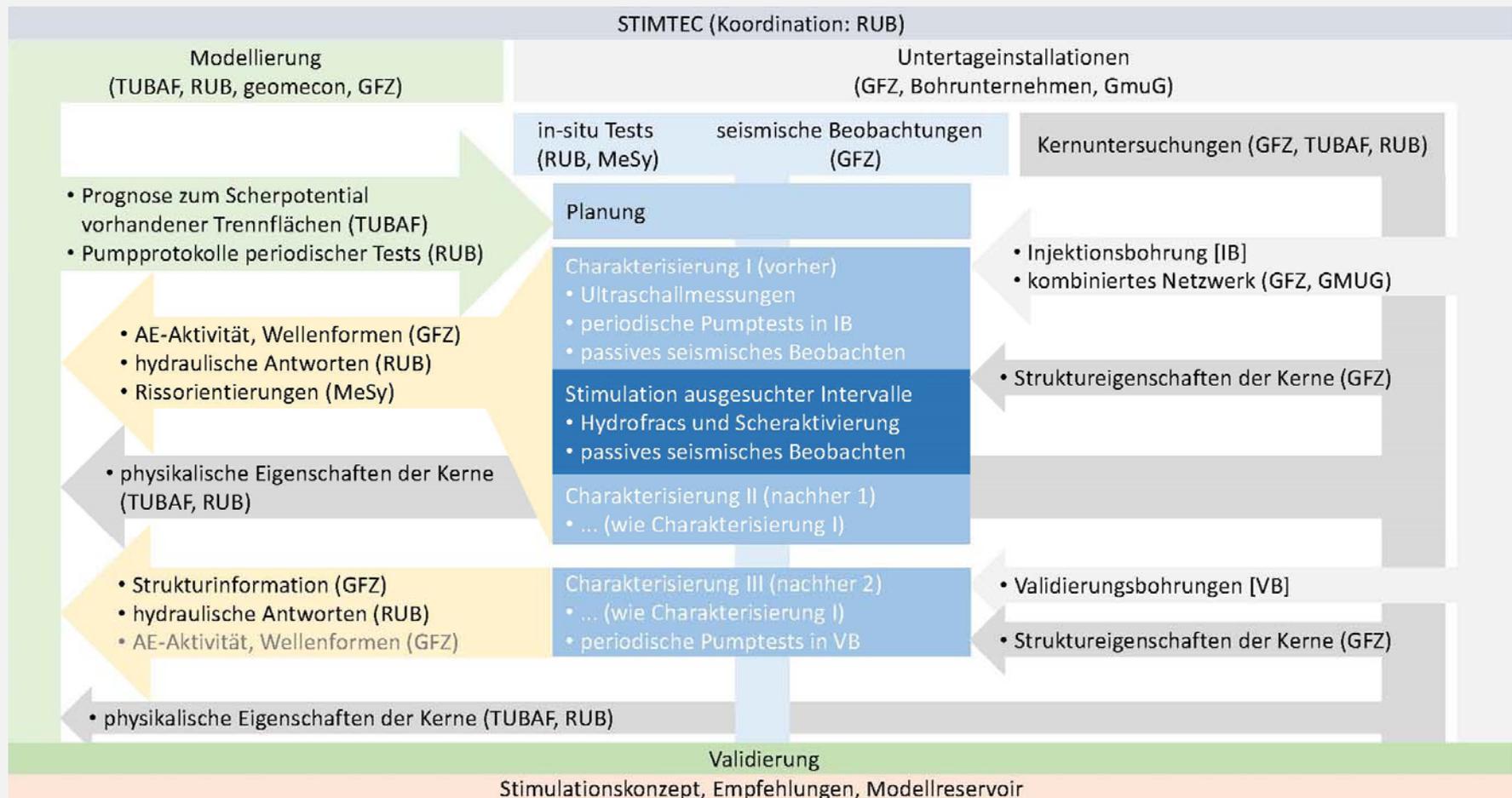
Ansatz

bisher qualitativ: hydraulischer Gewinn, da wo es kracht

quantitative
Überprüfung: Welcher Versagensmechanismus führt
zu welcher hydraulischen Änderung?

- **Stimulationsmaßnahmen**, die beide Endglieder abdecken
 - hydraulische Charakterisierung: vor, während, nach
 - seismo-akustische Überwachung: „während“
 - hydromechanische Modellierung: vor- und nachbereitend
- **Validierung** durch Erbohren der akustisch aktiven Bereiche
 - Schadensbild vs. Herdmechanismen
 - Schadensbild vs. hydromechanische Modellierungen
- **Empfehlungen** aus synoptischer Auswertung

Ansatz

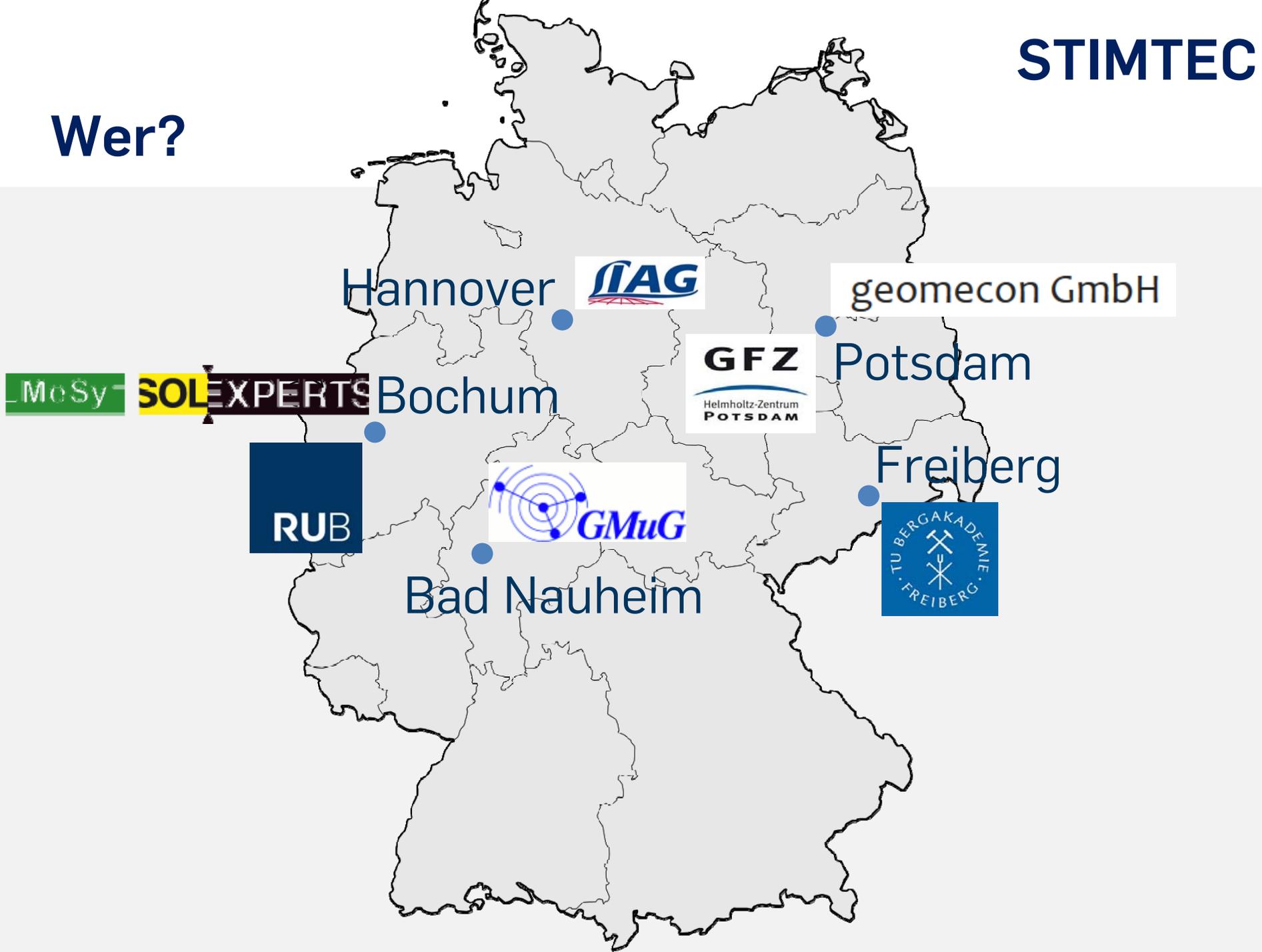


Arbeitspakete

- AP1 Untertageinstallationen
- AP2 Strukturgeologische Charakterisierung der Bohrkerne
- AP3 Mikroseismische Beobachtungen, Ultraschallmessungen
- AP4 Hydraulische Tests und Stimulationen
- AP5 Spannungsfeldanalyse
- AP6 Gesteinsphysikalische Laborversuche
- AP7 Modellierung, Simulation, Validierung und Prognose

Arbeitspaket\Durchführende	RUB	GFZ	TUBAF	geomecon	Auftragnehmer
Koordination*, Planung					
Untertageinstallationen					GMuG, Bohrfirma
Strukturgeologische Charakterisierung der Kerne					
Mikroseismische Beobachtung, Ultraschallmessungen					
Hydraulische Tests, Stimulation					MeSy-Solexperts
Spannungsfeldanalyse					MeSy-Solexperts
Gesteinsphys. Laborversuche					
Modellierung, Simulation, Prognose, Validierung					

Wer?



Hannover



geomecon GmbH

MeSy SOLE EXPERTS

Bochum



Potsdam



Freiberg



Bad Nauheim

Wer? Antragsteller

GFZ (M. Bohnhoff, G. Dresen)

Sektion 4.2 „Geomechanik und Rheologie“, Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum

- Monitoring und Analyse mikroseismischer Ereignisse auf Labor- und Feldskala
- Strukturgeologische Untersuchungen im Feld und an Bohrkernen

geomecon GmbH (T. Backers)

- Auftragsforschung und numerische Modellierungen mit Schwerpunkt auf rissmechanischen Ansätzen

RUB (J. Renner)

„Experimentelle Geophysik“, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik

- hydraulische Pumptests (periodisch)
- Laboruntersuchungen, Zusammenhang Struktur und physikalische Eigenschaften

TUBAF (H. Konietzky)

Lehrstuhl Felsmechanik, Institut für Geotechnik, TU Bergakademie Freiberg

- numerische Simulationen, Störungen, Rissausbreitung, Spannungsfeld
- gesteinsmechanische Laborexperimente, Parameterbestimmung

Wer macht die Arbeit?

Thomas Frühwirth
Heinz Konietzky
Sebastian Rehde
Frank Reuter (Reiche Zeche)



Marco Bohnhoff
Carolin Böse
Georg Dresen
Christoph Janssen
Grzegorz Kwiatek



Wer macht die Arbeit?

Tobias Backers

geomecon GmbH

Bernard Adero

Yan Cheng

Victoria Jimenez Martinez

Jörg Renner

RUB



MeSy SOLExperts

Thomas Wonik, Sektion 5: Gesteinsphysik
und Bohrlochgeophysik, Leibniz Institut für
angewandte Geophysik, Hannover

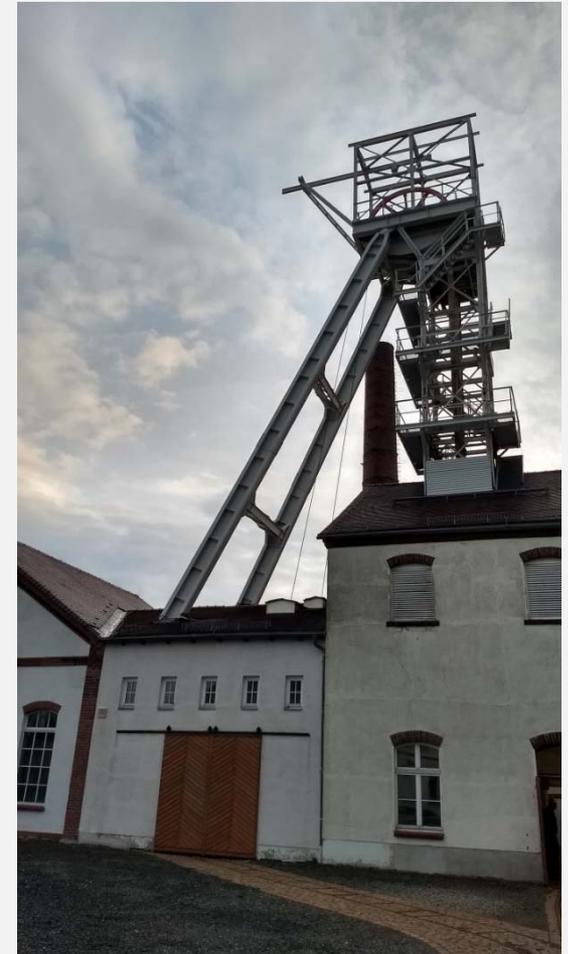


Wo?

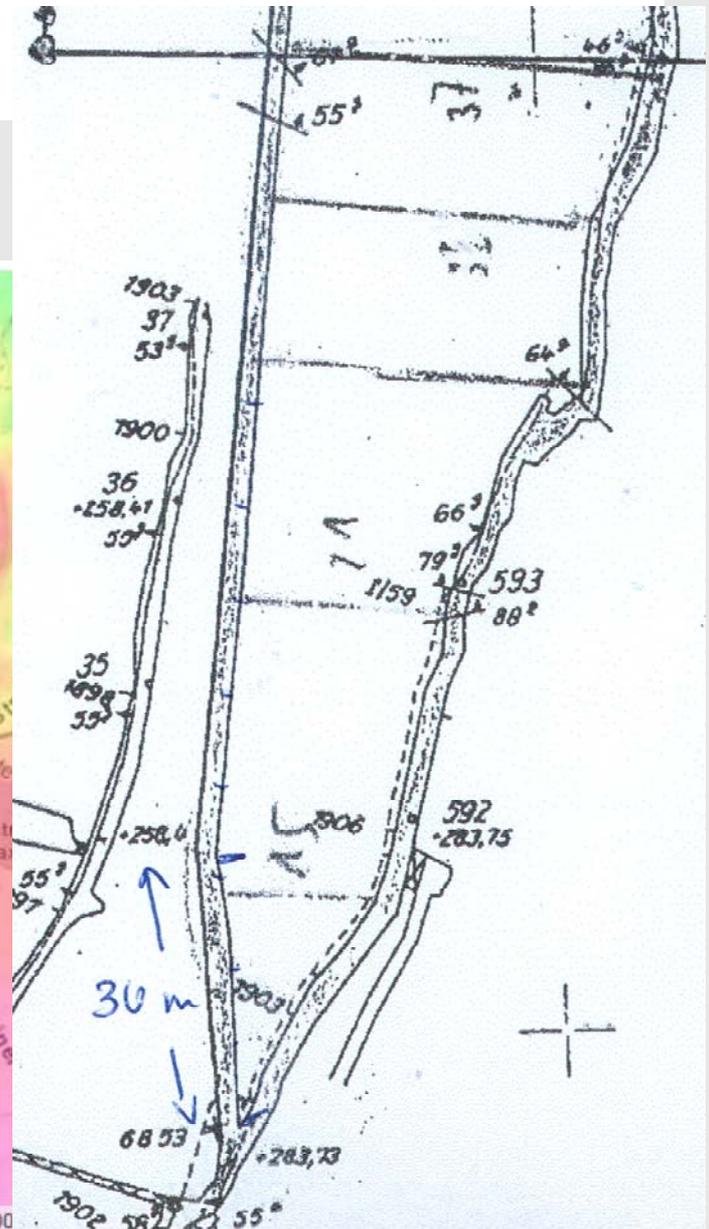
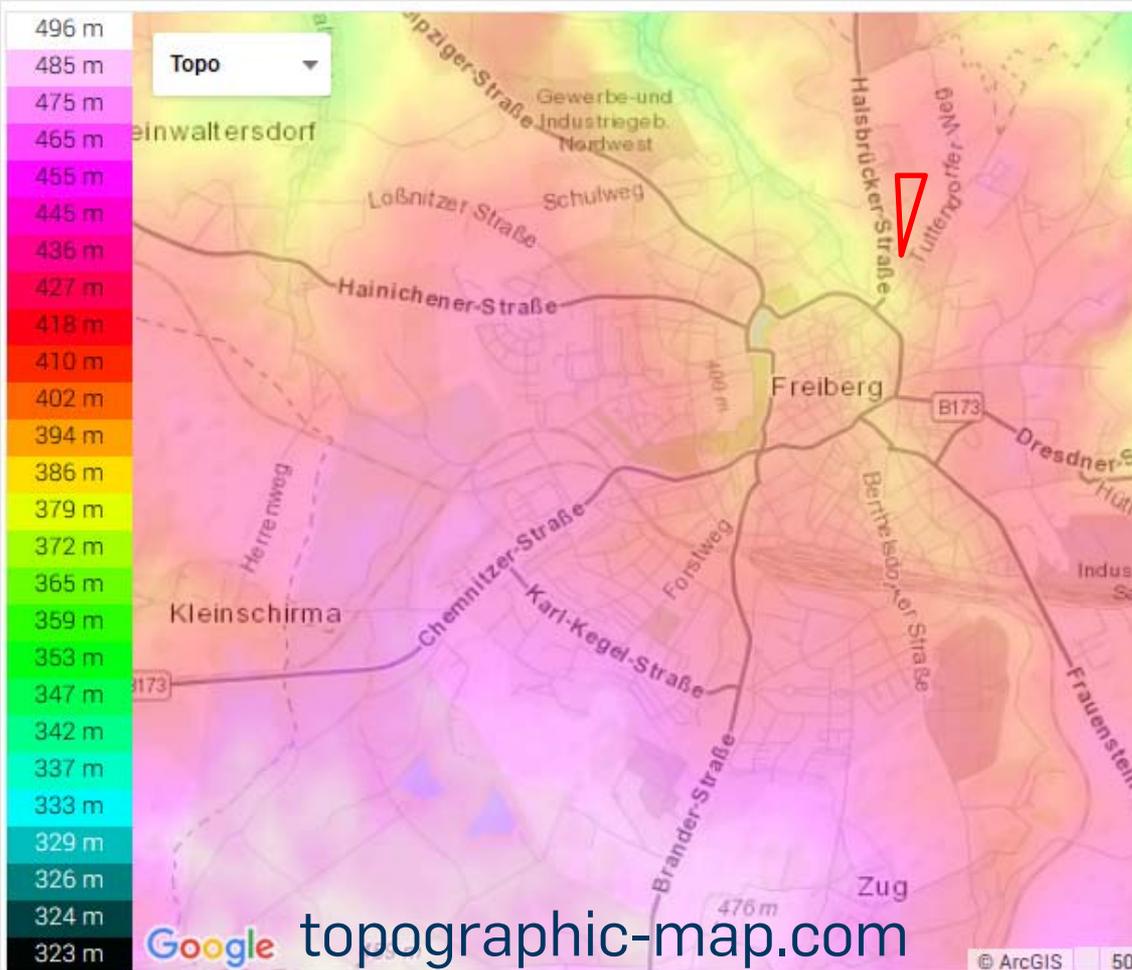
Reiche Zeche, Freiberg, Sachsen

- 2. Sohle auf ~283 üNN
- Erdoberfläche 390 bis 410 üNN

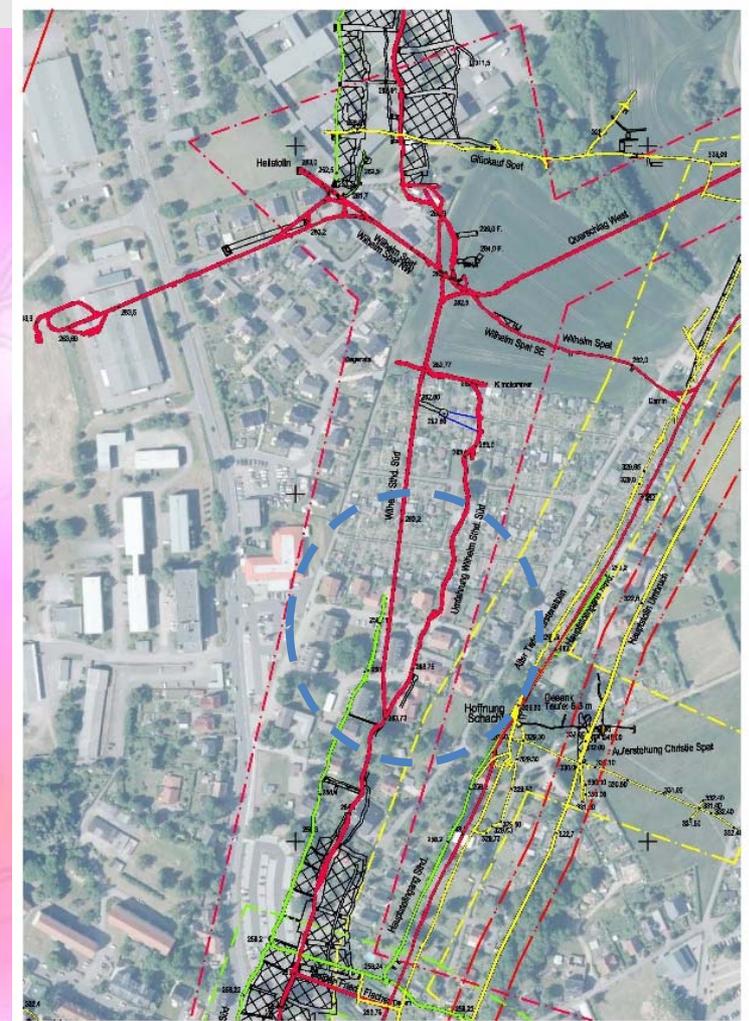
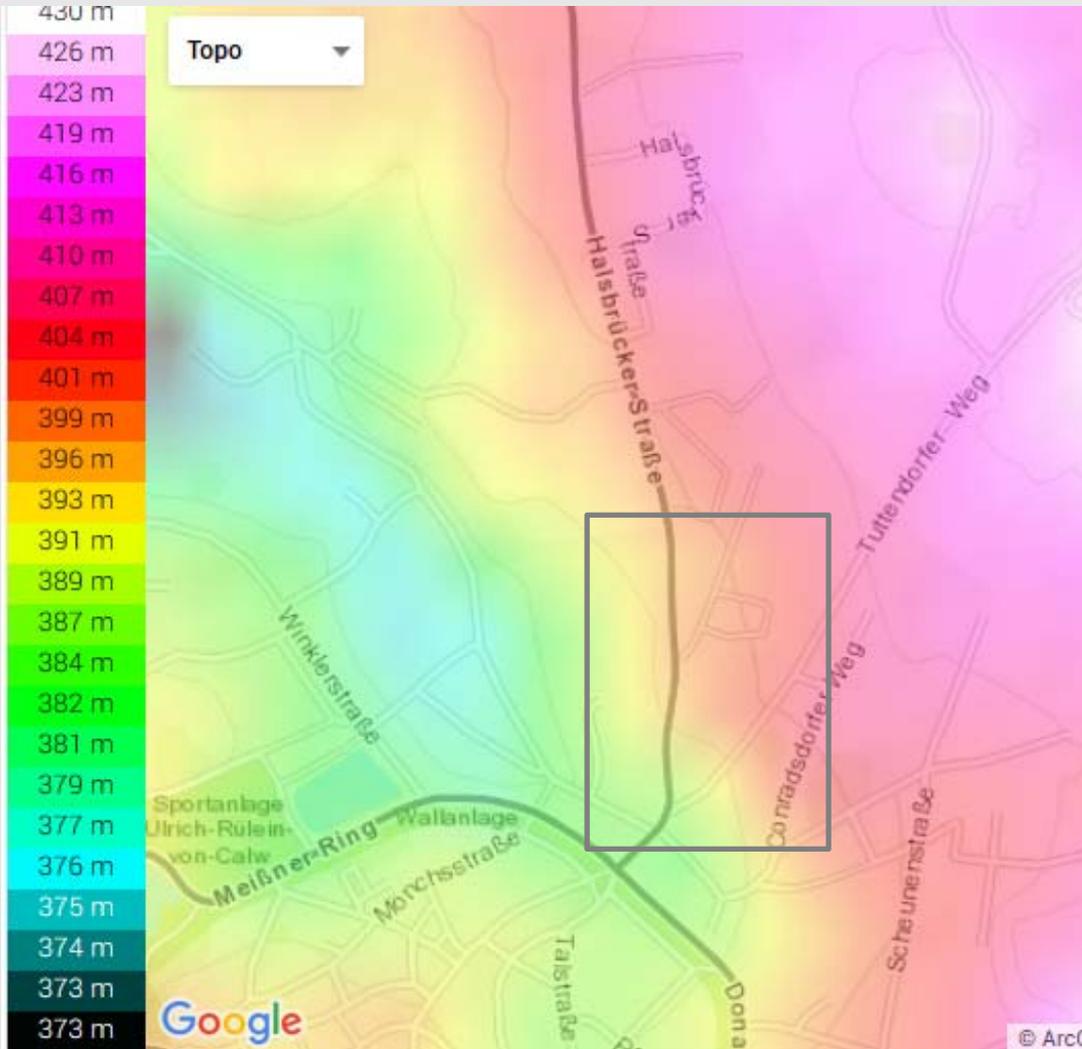
=> 120 bis 130 m Teufe



Reiche Zeche, Freiberg



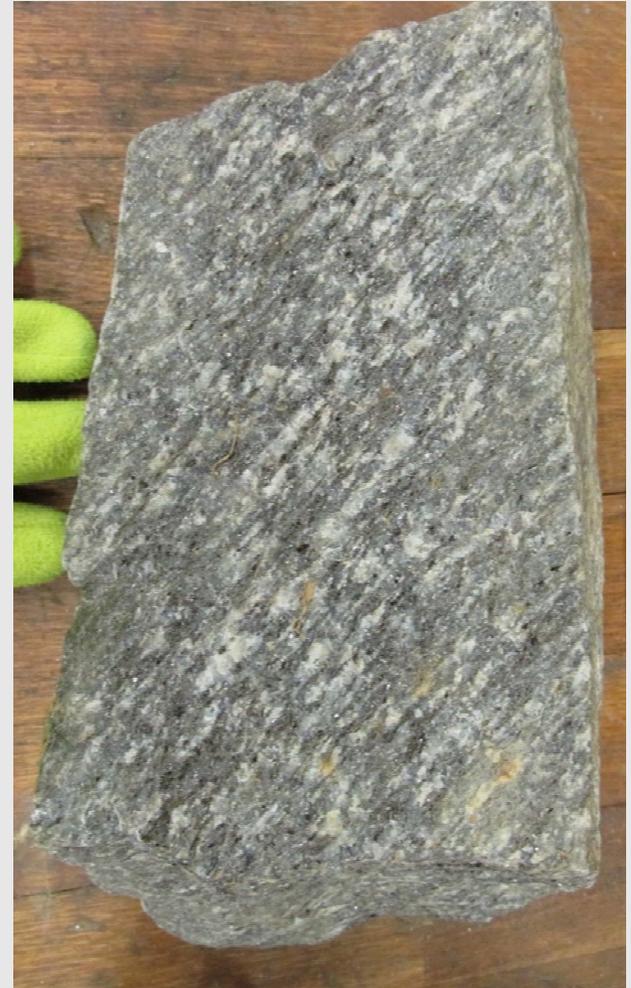
Freiberg/Reiche Zeche



Freiberger Gneis



- Metamagmatit:
- titanreicher Biotit
 - Oligoklas
 - Kalifeldspat
 - Quarz



Spannungszustand

Angaben für Tiefe ~140 m

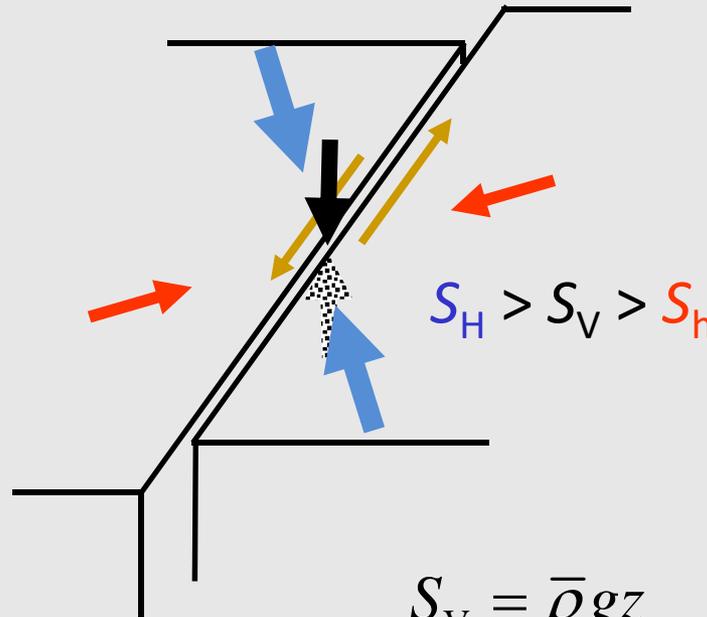
A740 Freiburger Forschungshefte, Mjakischew (Untersuchung des Gebirgsspannungszustandes im Süd-Ostteil der DDR, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1987)

Spannung		Wert (MPa)	Orientierung (°)	
σ_1	S_H	4.5	347/0	NNW/horizontal
σ_2	S_v	3.6	0/90	-/Vertikal
σ_3	S_h	3.0	77/-	ENE/horizontal

Spannungszustand

Blattverschiebungsregime (strike slip)

- Erwartung: => vertikale, NNW streichende **Zugrisse**
- => **Schergleiten**, NNE-SSW streichende Störungen



Vertikalspannung

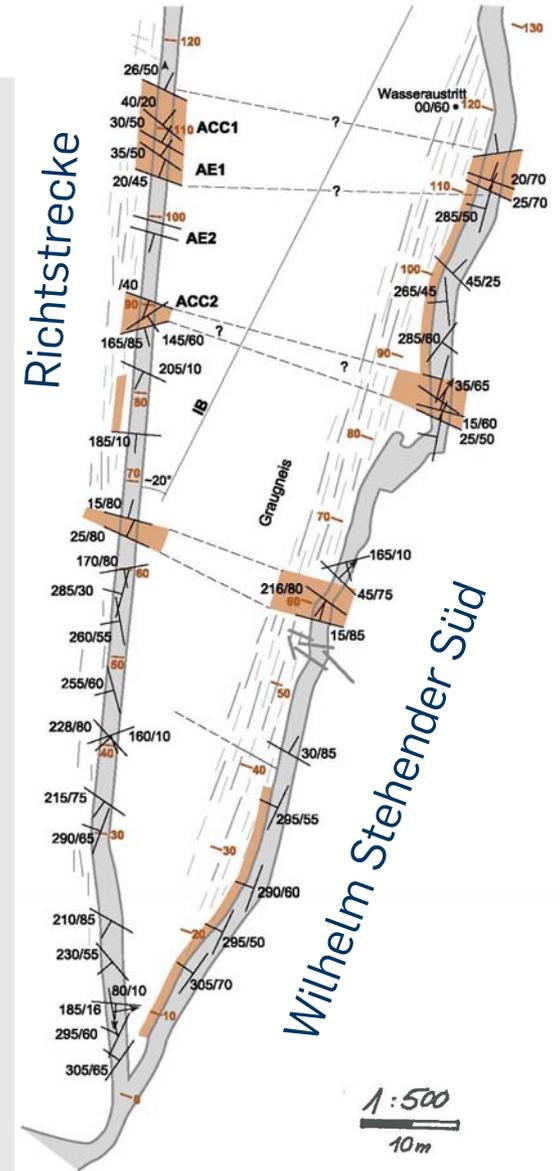
$$S_V = \bar{\rho} g z$$

$$\approx 2650 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 \cdot 125 \pm 5 \text{ m}$$

$$= 3.3 \pm 0.2 \text{ MPa}$$

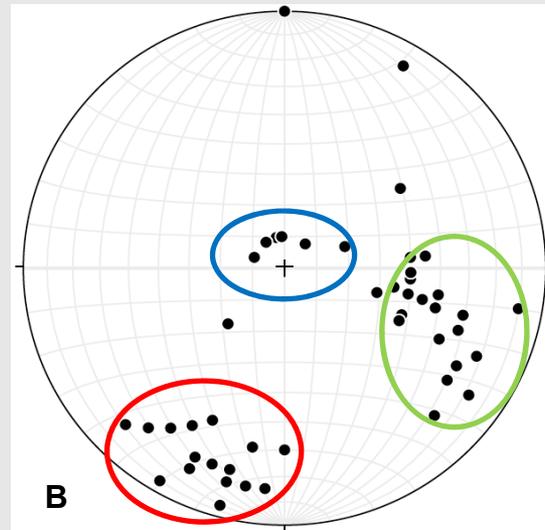
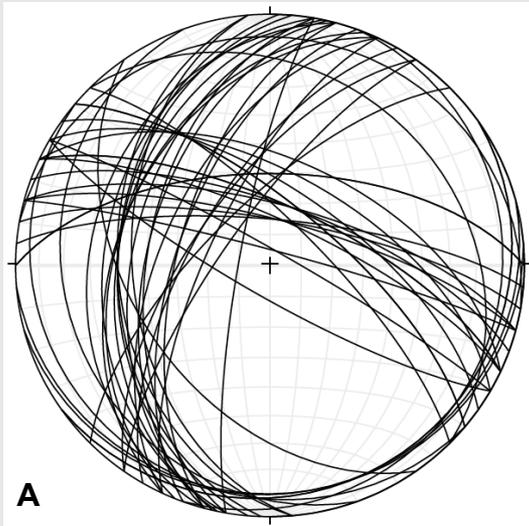
Strukturuntersuchungen

- Kluftsysteme (eins foliationsparallel)
- „3“ steil stehende Störungszonen

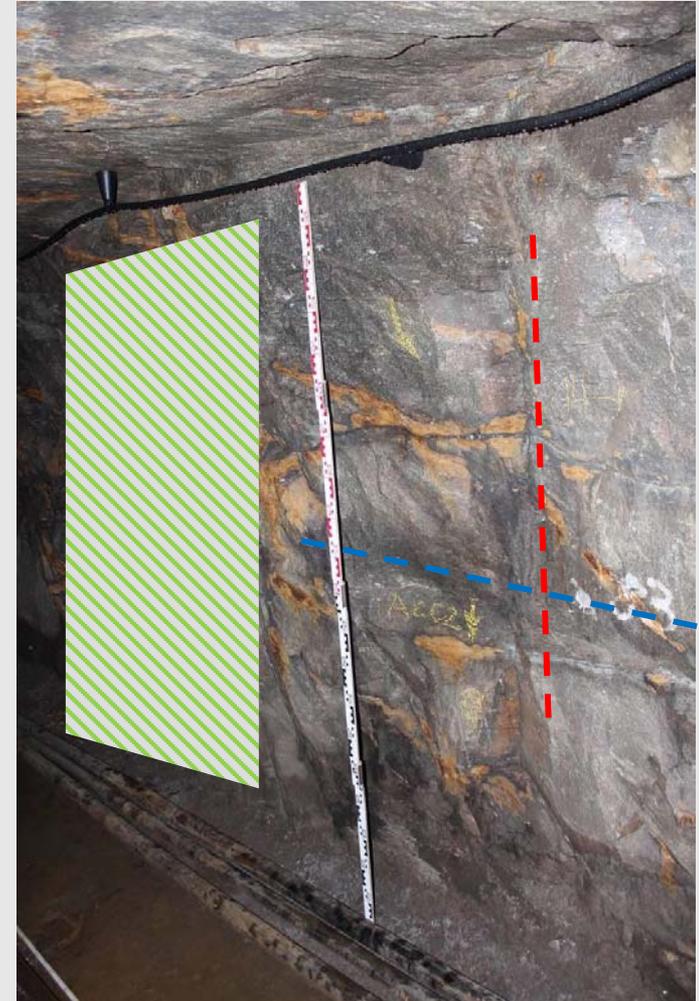


Strukturuntersuchungen: Klüfte

- Kluftsysteme (eins foliationsparallel)
- „3“ steil stehende Störungszonen

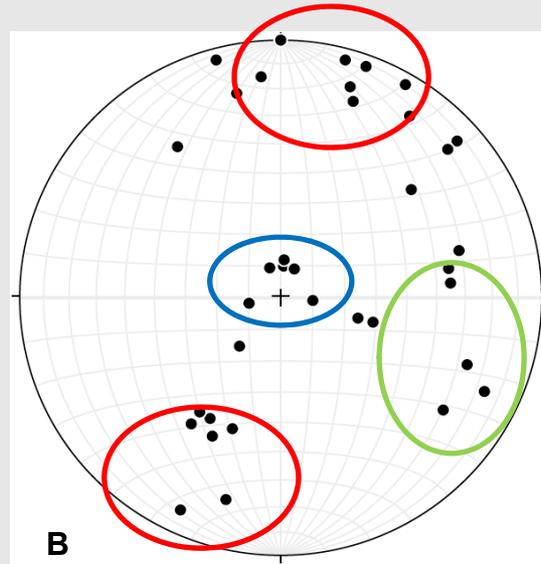
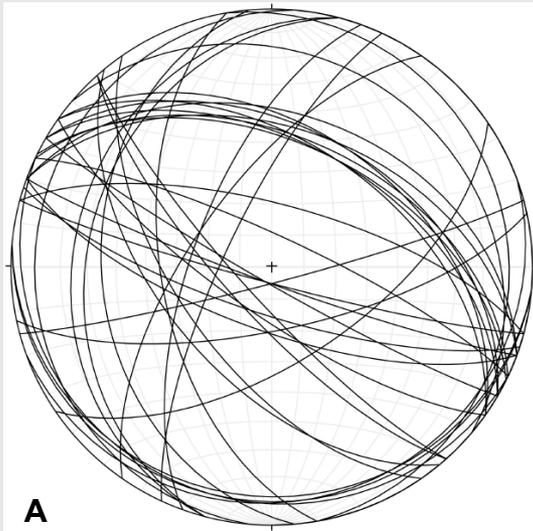


Wilhelm Stehender Süd
Schmidtsches Netz, untere Halbkugel
A: Großkreise, B: Flächenpole



Strukturuntersuchungen: Klüfte

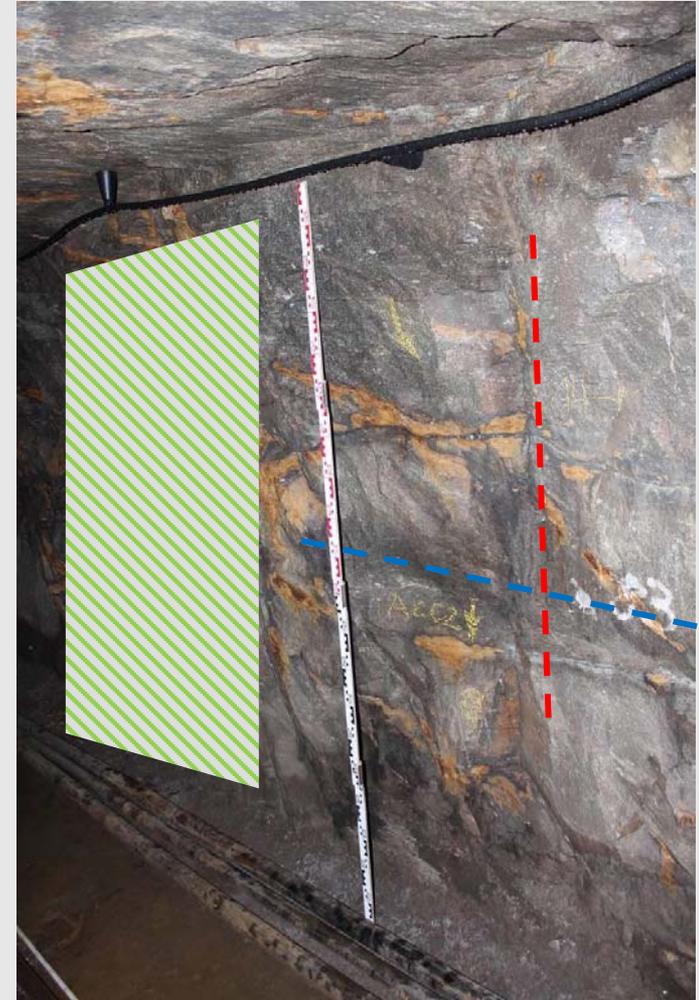
- Kluftsysteme (eins Foliations-parallel)
- „3“ steil stehende Störungszonen



Richtstrecke

Schmidtsches Netz, untere Halbkugel

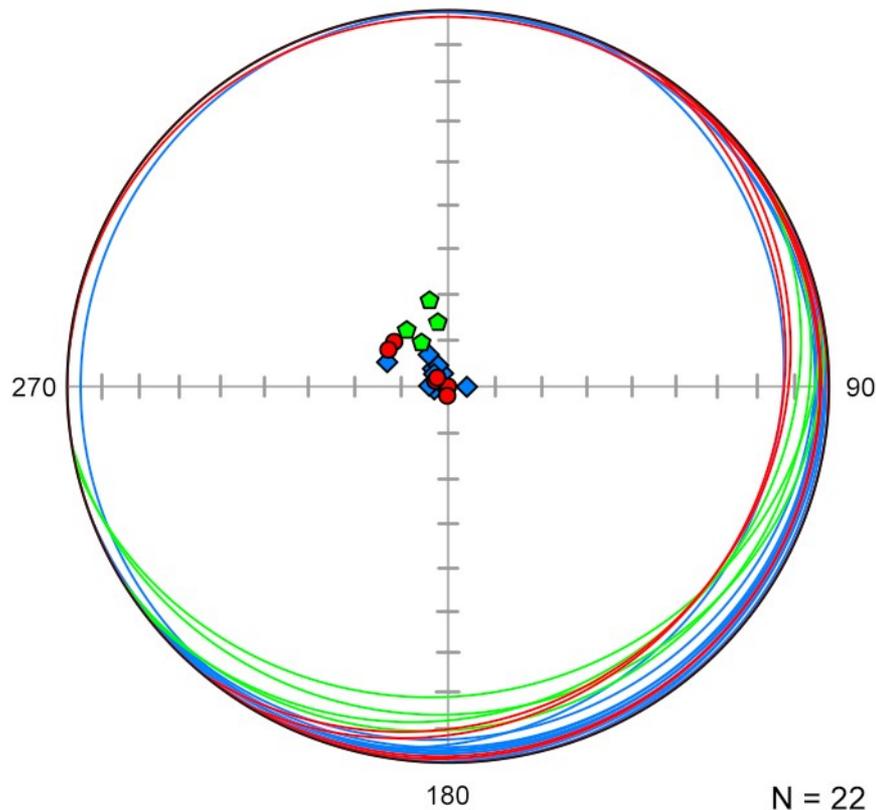
A: Großkreise, B: Flächenpole



Strukturuntersuchungen: Foliation

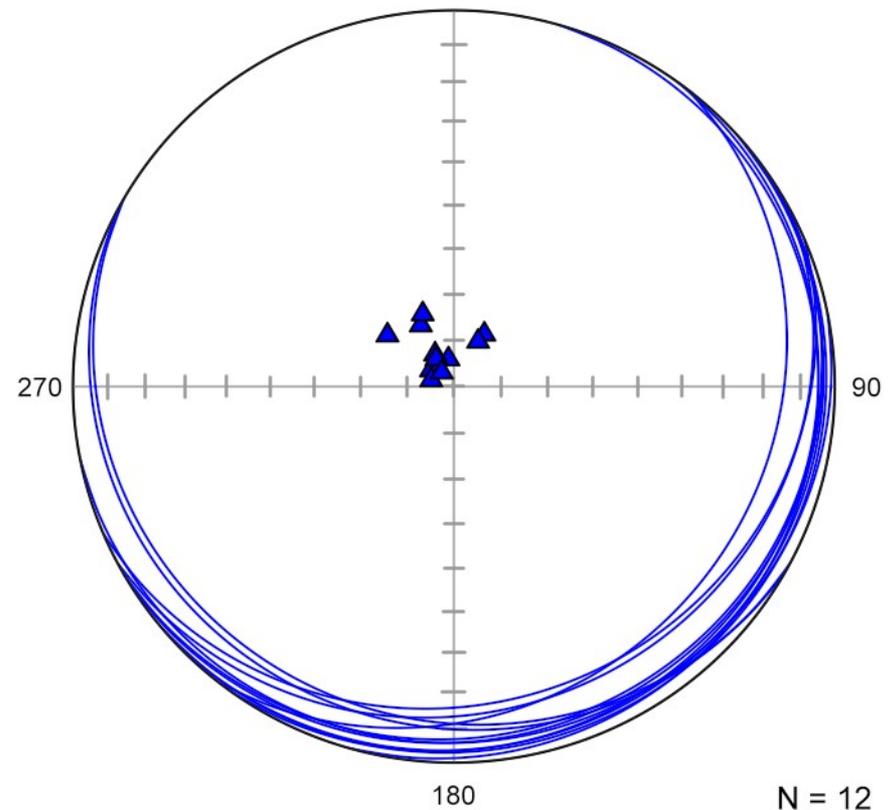
Richtstrecke

RS, Station 60.0 - 117.5m (kompletter Bereich Versuchsort)



Wilhelm Stehender

WSS, Station 90.1 - 107.5m (Bereich Sensor-Array)



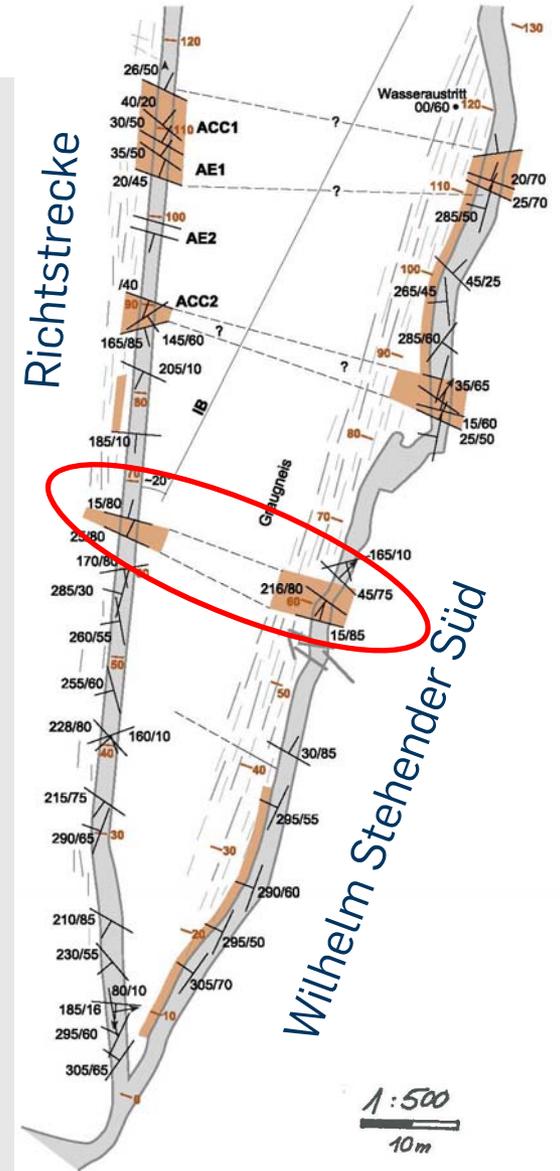
Störungen

- Störungszone: Süd
- Störungszone: Mitte
- Störungszone: Nord

Richtstrecke



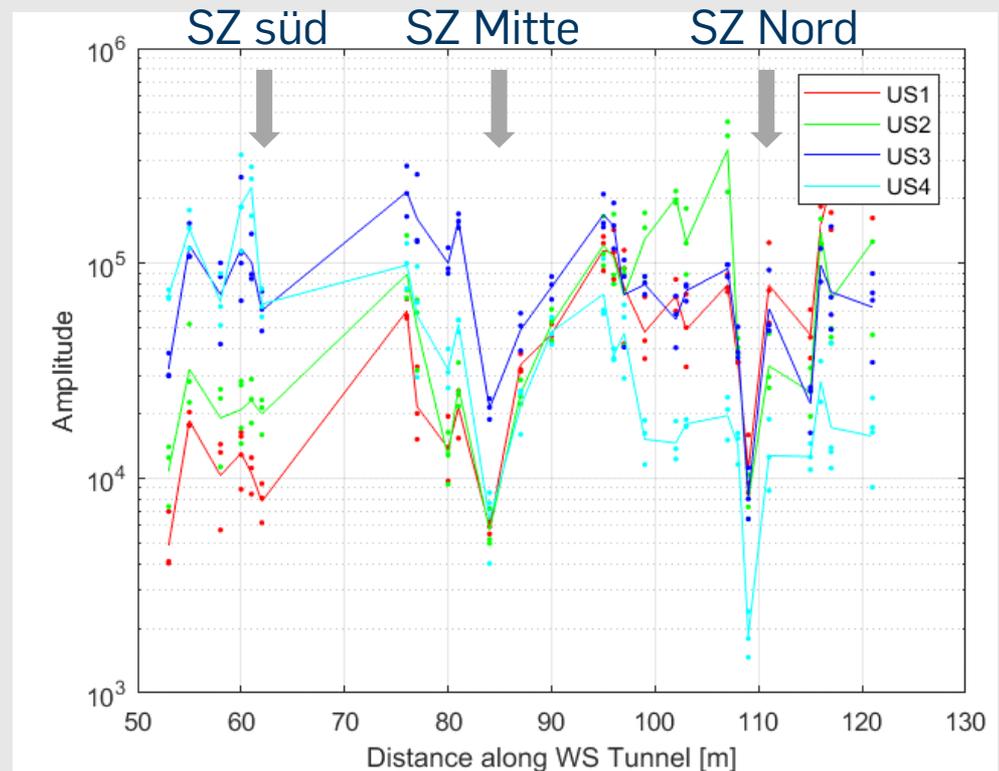
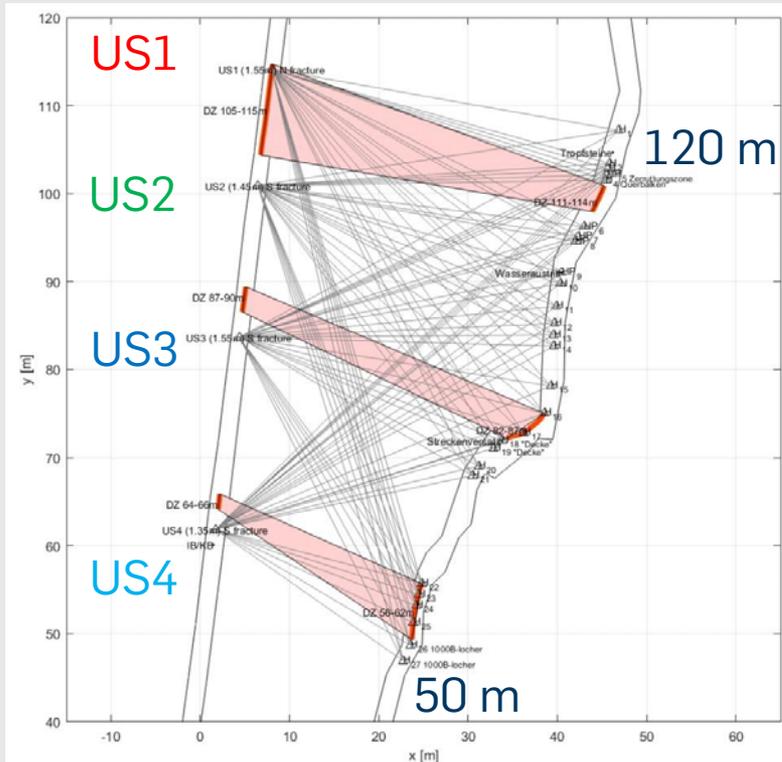
Wilhelm Stehender



Elastische Eigenschaften

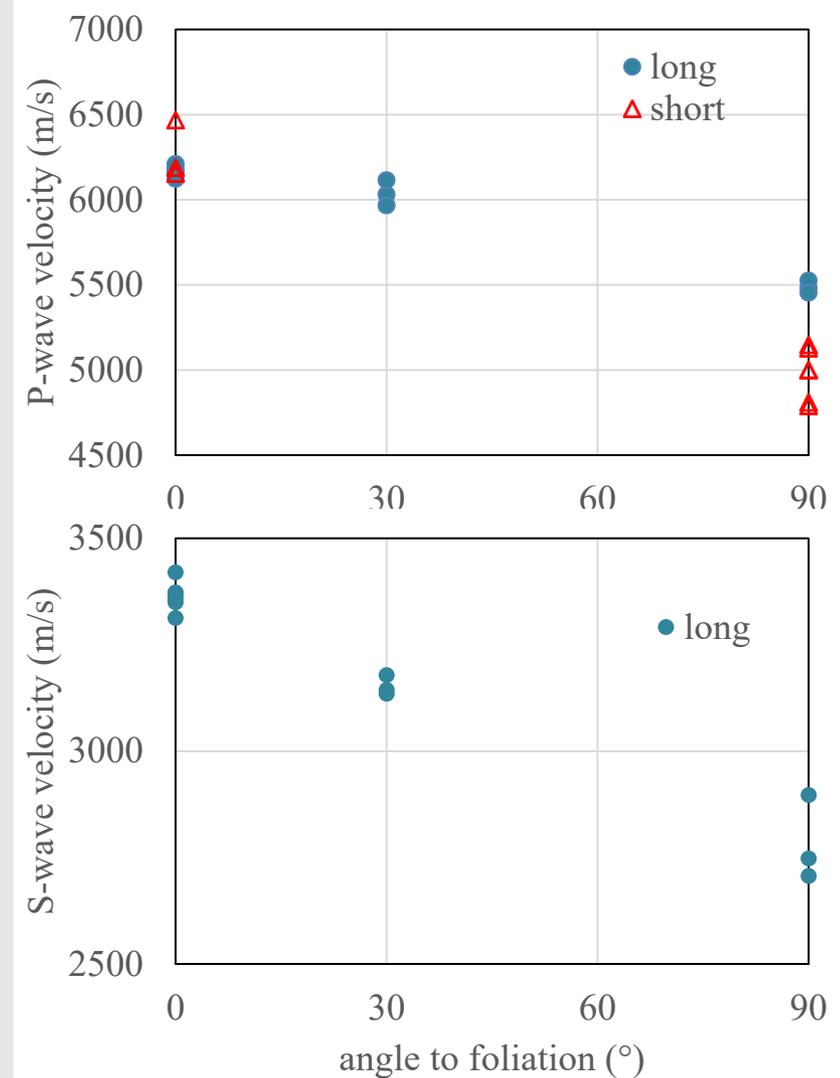
Durchschallungsexperiment 07/2017

- 4 Empfänger entlang der Richtstrecke
- 25 Schlagpunkte entlang Wilhelm Stehender (Hammer)



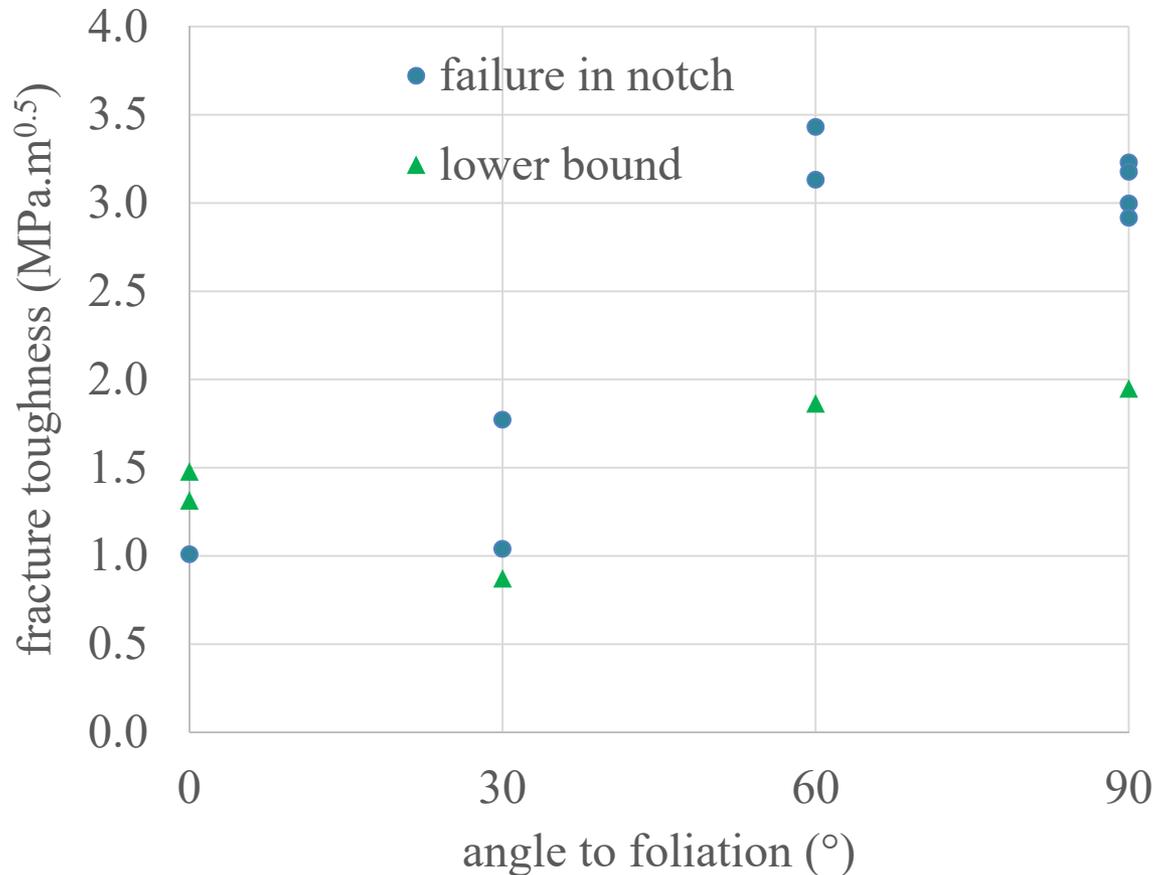
Elastische Eigenschaften

Ultraschallmessungen an Proben
=> ausgeprägte Anisotropie



Inelastische Eigenschaften

Drei-Punkt-Biegeversuche
=> ausgeprägte Anisotropie



Hydraulik

- Wasseraustritt
- Alteration



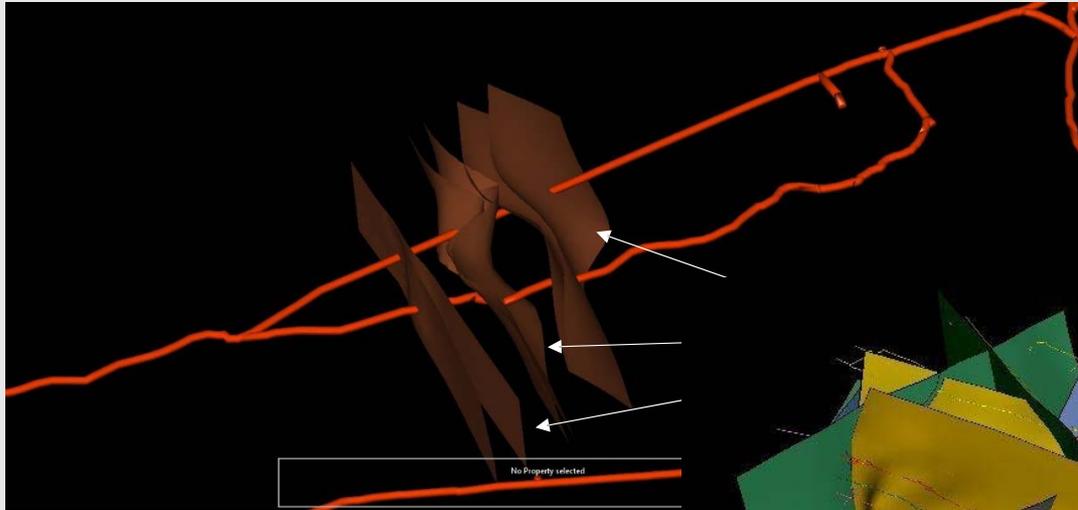
Laborversuche:

intakte Proben

* Porosität 0.2 %

* Permeabilität
~ 10^{-20} m² entlang
Foliation, druck-
abhängig
< 10^{-20} m² quer zur
Foliation

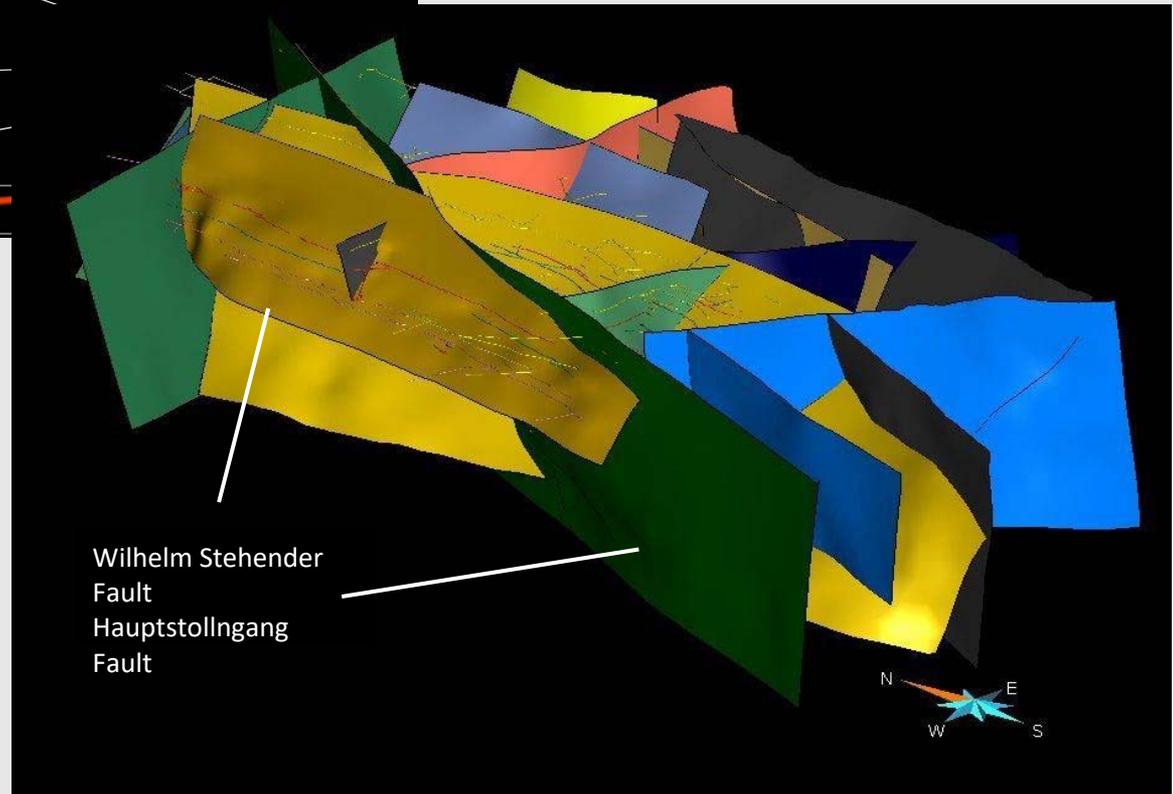
Modellbildung: lokal und regional



Strukturen

Topographie

mit Unterstützung
Sächsisches Landesamt für
Umwelt, Landwirtschaft und
Geologie



Spannung - Struktur - Auslage

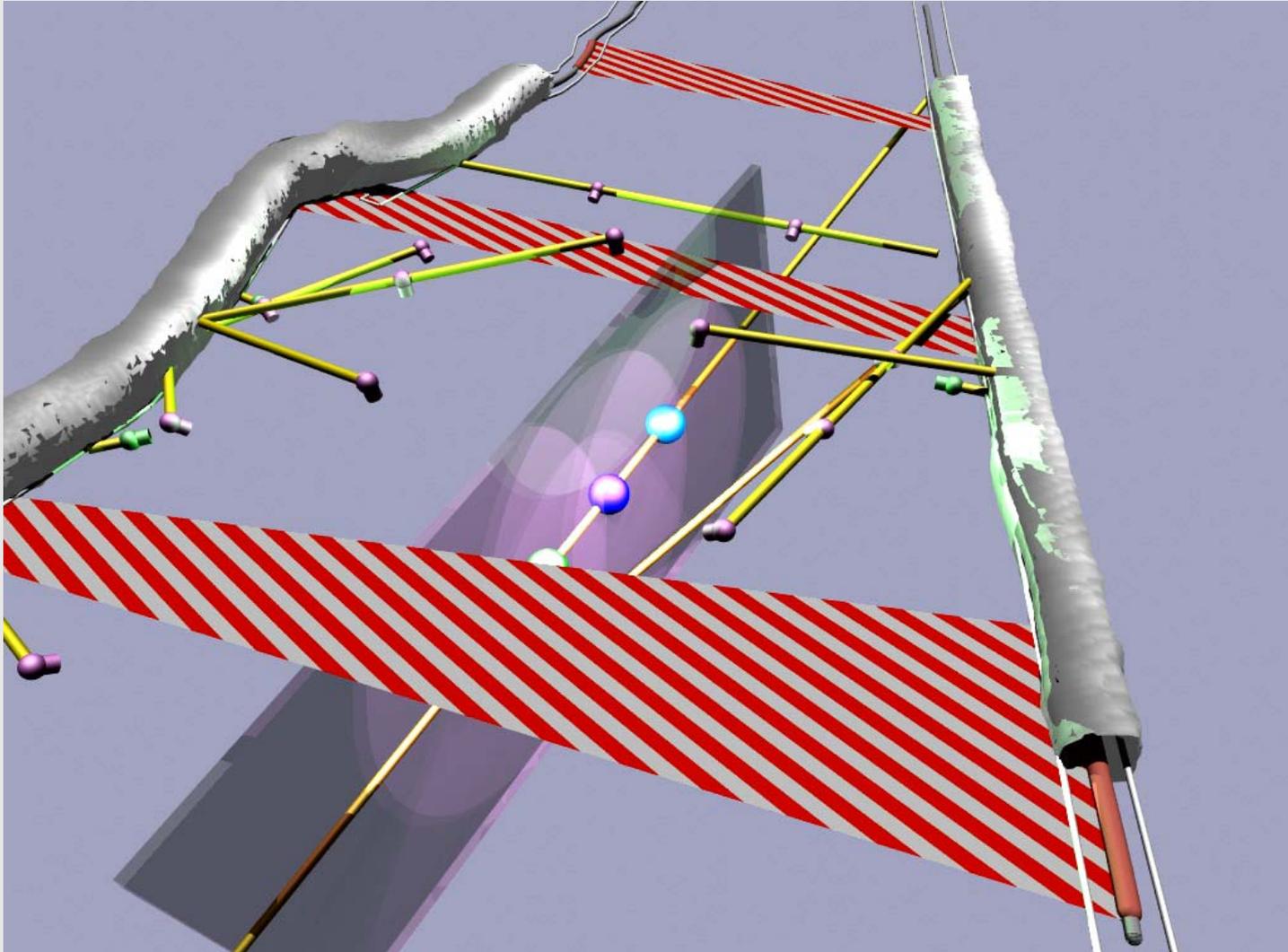
Aussichten für Realisierung der beiden Stimulationsendglieder

- Aktivierung von Scherversagen
 - ⇒ umfangreiches Störungs- und Kluftinventar
 - ⇒ für erwarteten Spannungszustand wahrscheinlich möglich
- hydraulische Zugrisse
 - ⇒ intakte Abschnitte
 - ⇒ geringe Permeabilität
 - ⇒ Zugfestigkeitsanisotropie – Rissinitiierung/Orientierung (schwach geneigtes Bohrloch bei subhorizontaler Foliation?)

drei dominante Störungszonen

- ⇒ korrespondieren eher nicht mit dem aktuellen Spannungszustand
- ⇒ sind vermutlich hydraulisch relevant

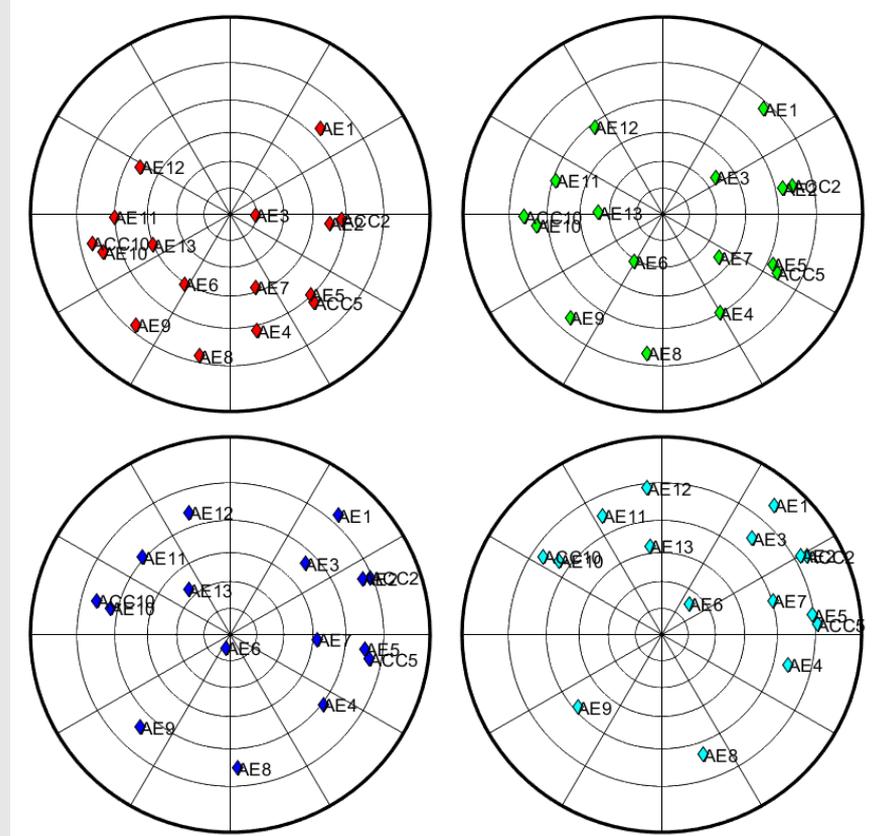
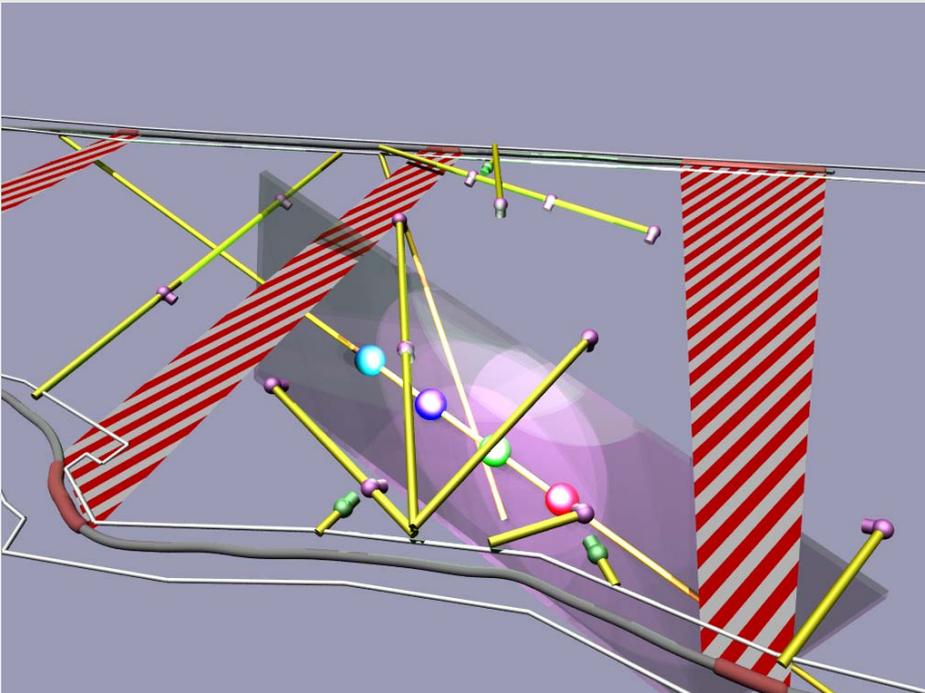
Experimentelles Vorgehen: Aufbau



Experimentelles Vorgehen: Aufbau

Optimierung der "coverage"

- Lokalisierung
- Herdflächenlösung
- Momententensorinversion



Experimentelles Vorgehen: Sensoren

Akustische Emmissionen

Beschleunigungsmesser

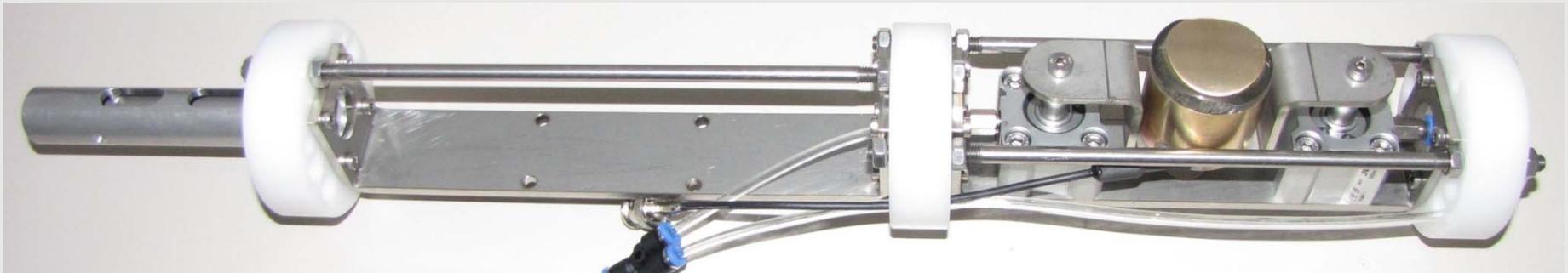
Wilcoxon 736T

(sensitivity 0,05 kHz to 25 kHz)

Breitband-Ultraschallsensoren

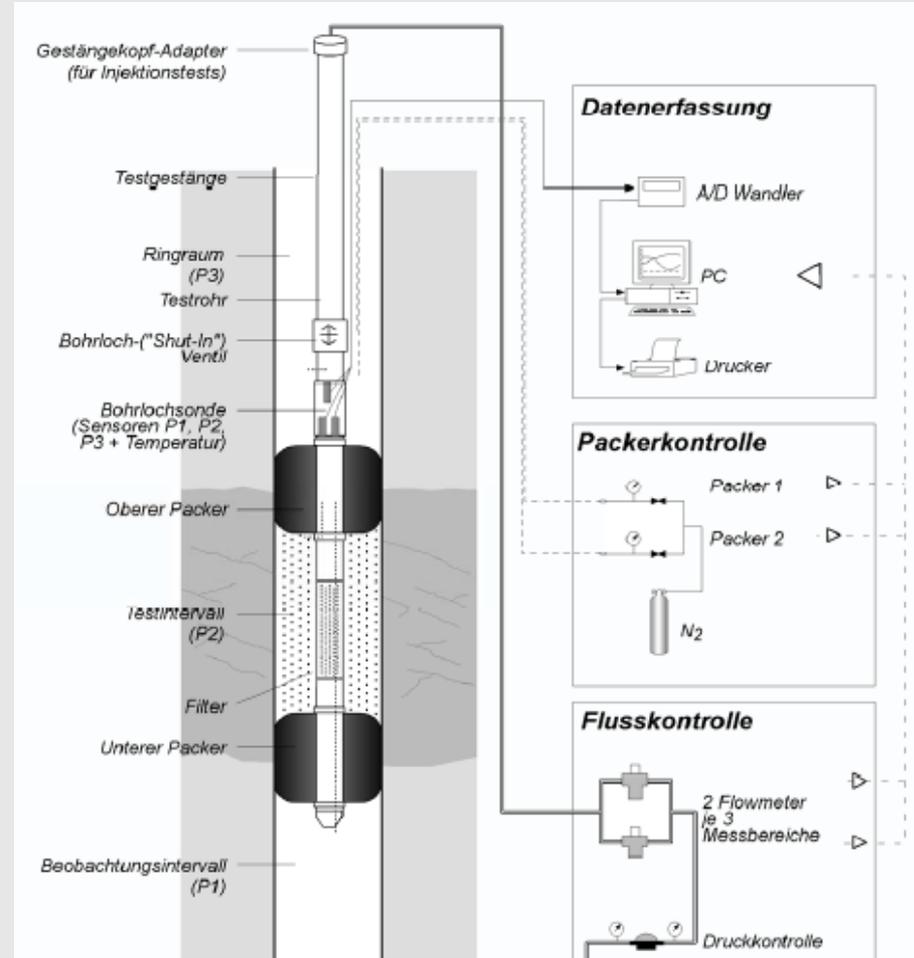
GMuG MA Blw-7-70-75

(sensitivity 1 kHz to 100 kHz)



Experimentelles Vorgehen: Sensoren

hydraulische Messungen
Mehrfachpacker
“downhole” Druckmessdosen
“downhole flowmeter”



Zusammenfassung und Ausblick

STIMTEC

- mesoskaliges Validierungsexperiment für hydromechanische Prozesse bei Stimulationsmaßnahmen
- Beobachtungs- und Charakterisierungsmöglichkeiten, die in realen Projekten nicht gegeben sind

Bohrbeginn: Januar
=> Kernuntersuchungen
=> “slip tendency” Prognose
=> Auswahl Injektionsintervalle

Bohrlochversuche: Phase 1 “Stimulation” März/April 2018
Phase 2 “Validierung” 2019