



Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



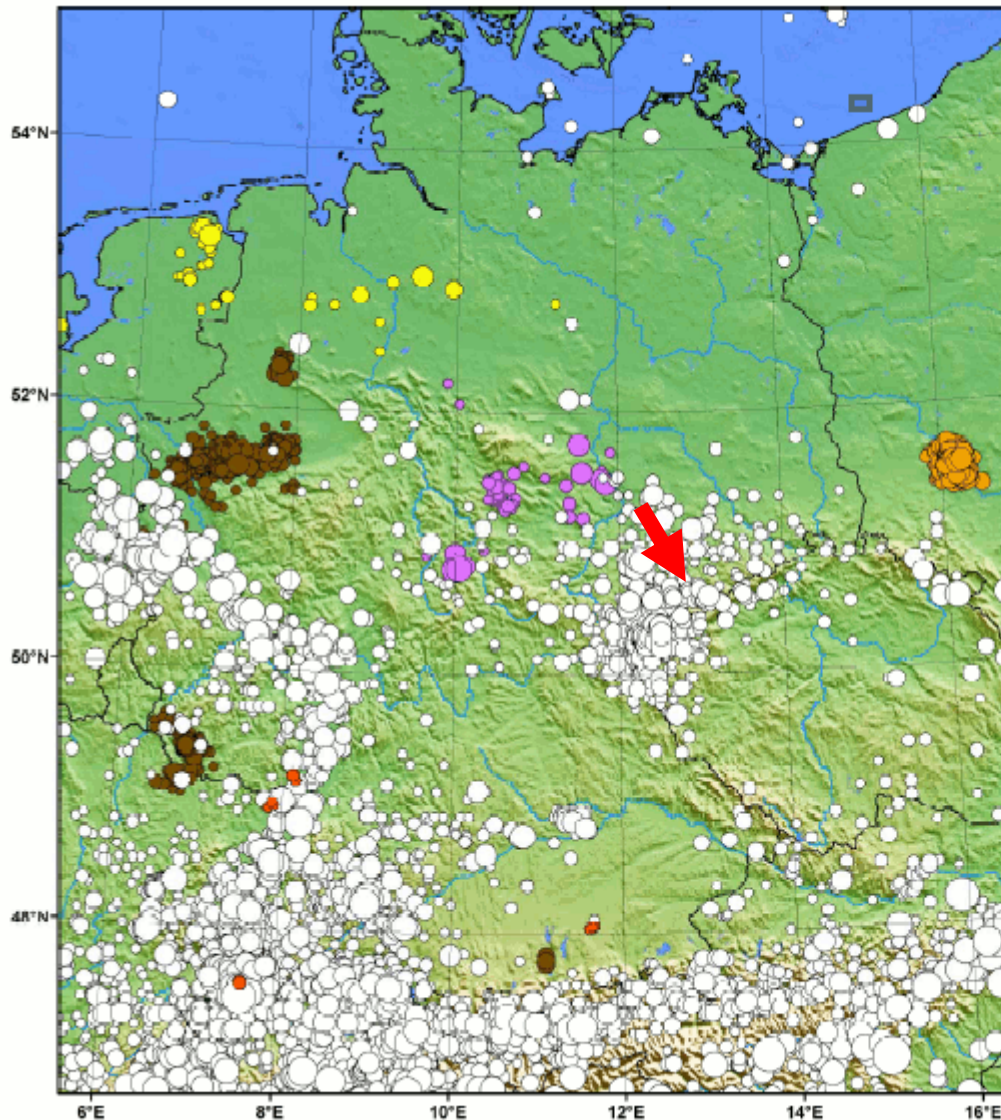
## Einzelprojekt 7

Prognose der möglichen induzierten / getriggerten Seismizität im Kristallin in Auswertung der flutungsbedingten seismischen Ereignisse im Bergbaurevier Aue/Schlema

## Stand der Arbeiten

Prof. Dr. -Ing. habil. Heinz Konietzky  
Dipl.-Geophys. Reinhard Mittag  
Dipl.-Geophys. Holger Schütz





## Induced Seismic Events

in areas of

- enhanced geothermal systems
- natural gas production
- coal mining
- potash and rock salt mining
- copper mining

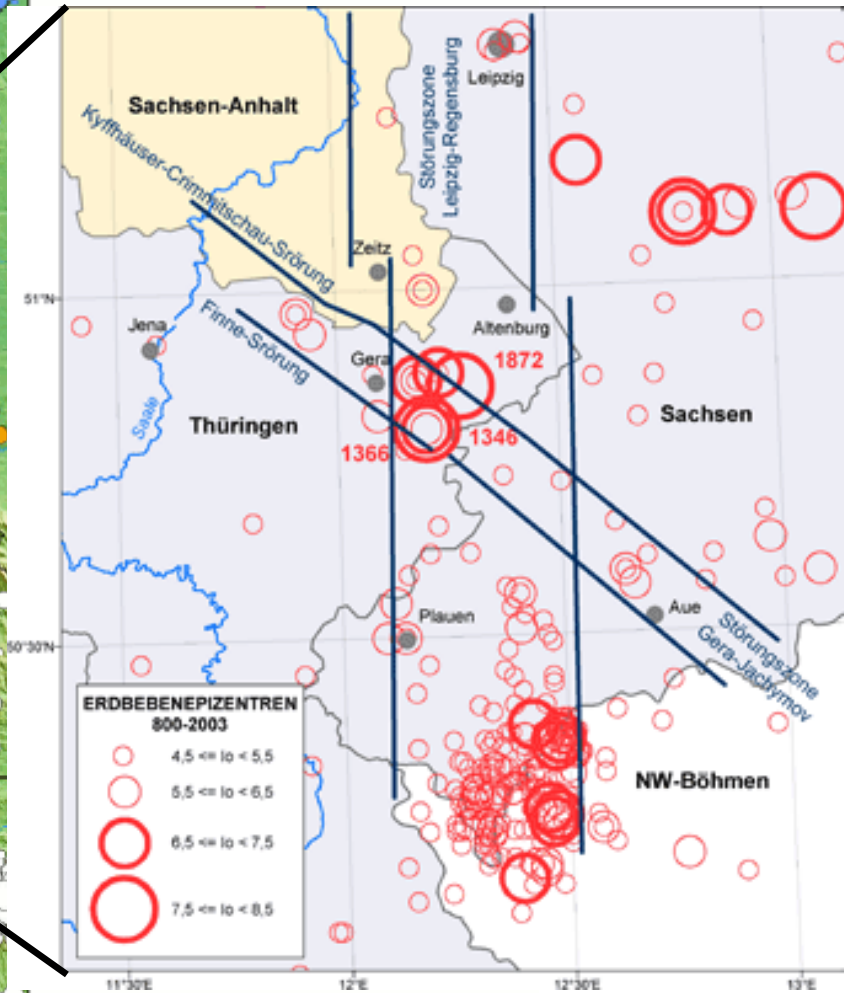
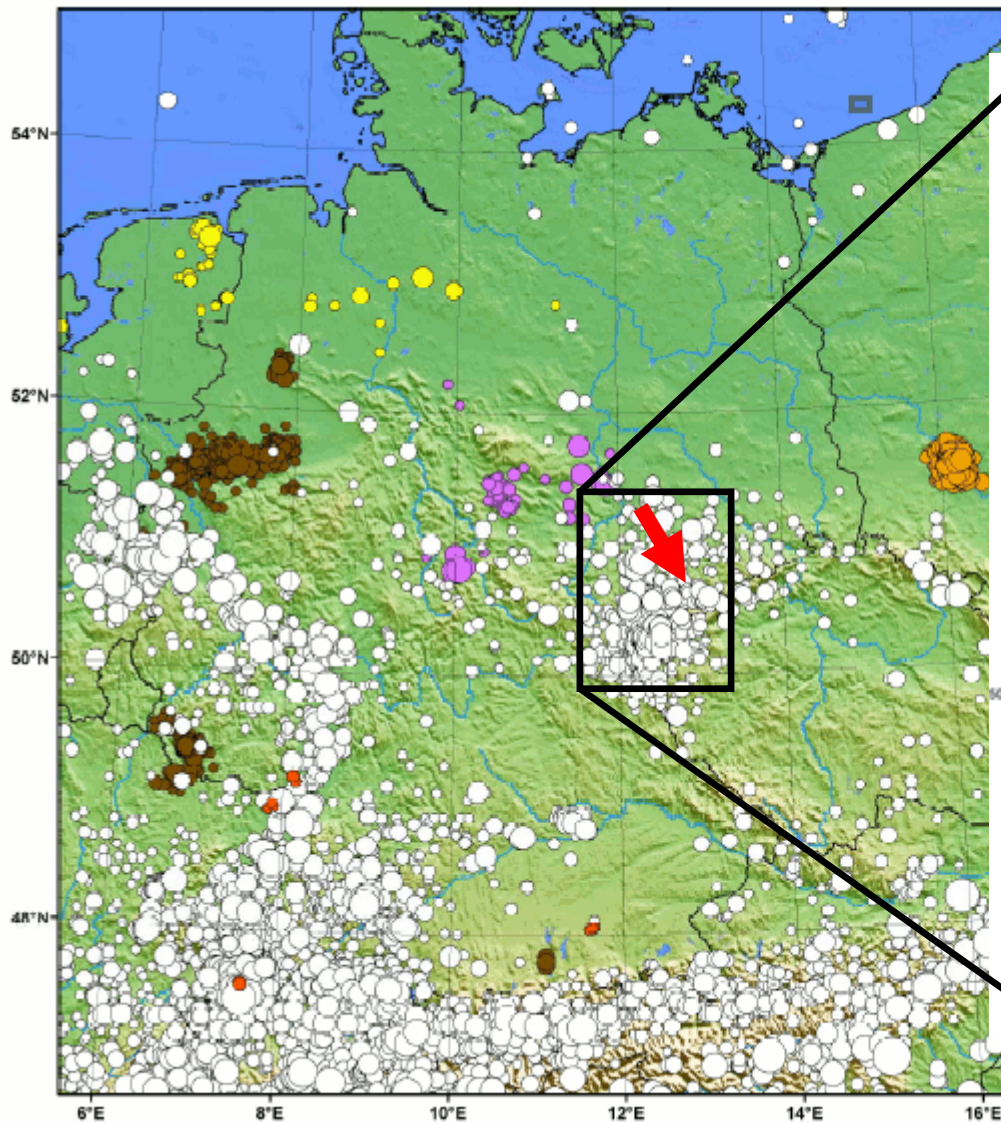
## Natural Tectonic Earthquakes



CENEC-DB  
Grünthal et al. (2009)  
Update 2010, unpubl.

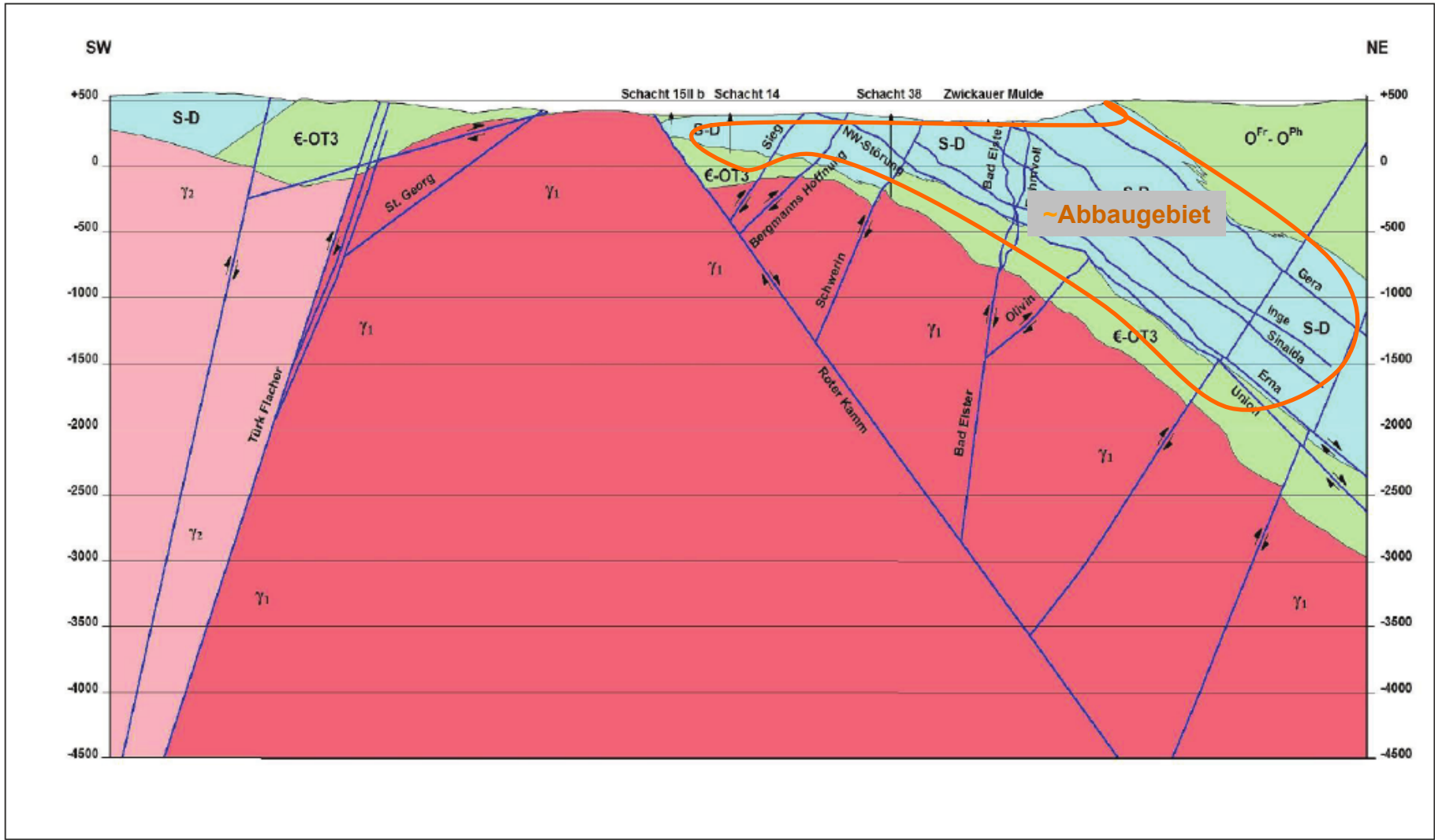
courtesy of G. Grünthal





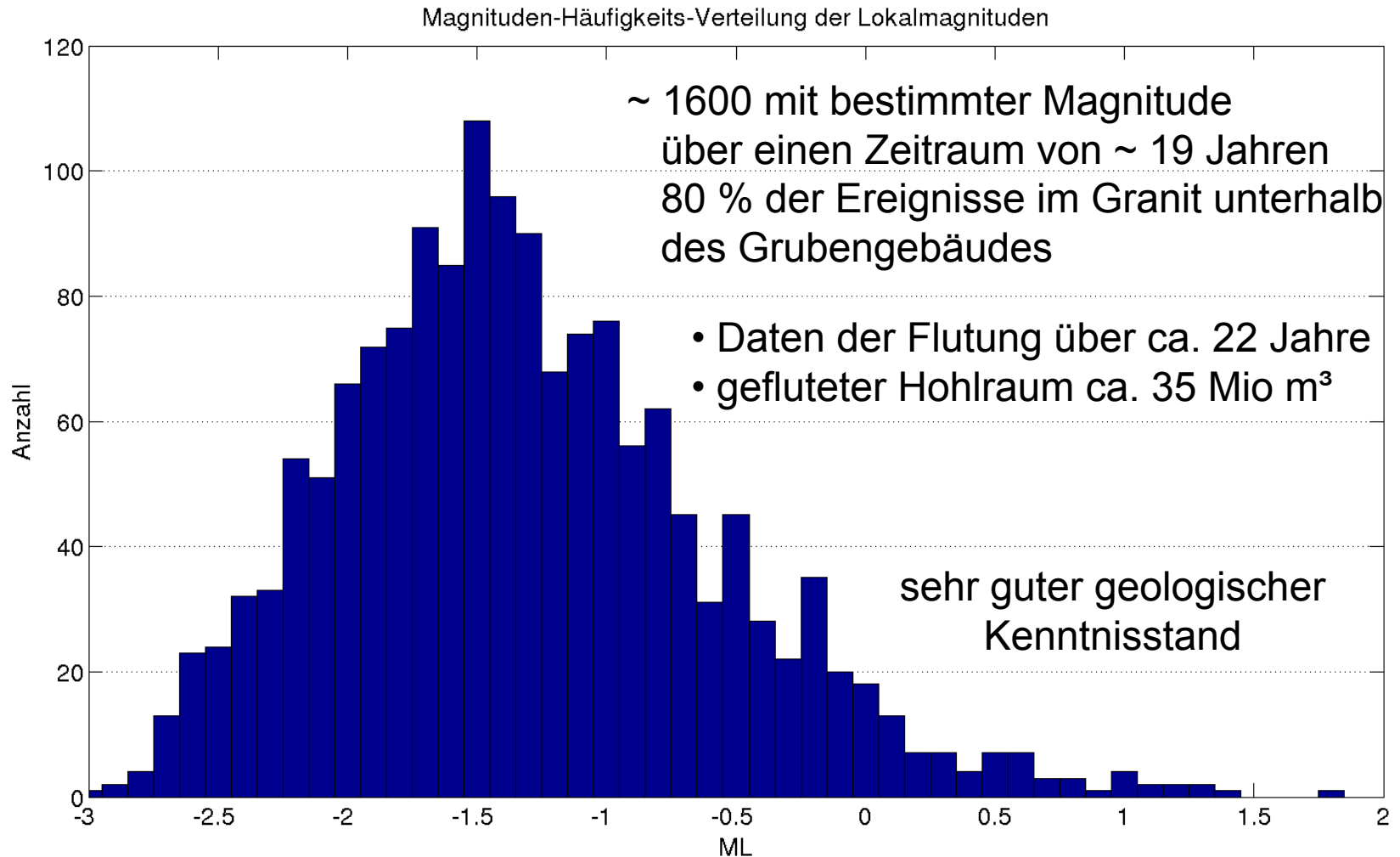
Quelle: LEYDECKER, G. (2003): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 bis 2003

# geologischer Schnitt



Bildquelle: Forschungsbericht Tiefengeothermie Sachsen (Felix et al.)

# Datengrundlage



# Messnetzerweiterung TU-Netz

Eine offline Station:

- Lennartz LE3D-1s
- Lennartz MARSLite @250Hz
- DCF-77 Zeitsignal



$\Sigma = 7$

Eine online Station:

- Guralp CMG-3ESP-1s
- Guralp CMG-5TC
- Guralp CMG-EAM24S6EAM @ 250Hz
- GPS-Zeitsignal



$\Sigma = 1$

Betreibernetz der Wismut GmbH:  $\Sigma \sim 40$  überwiegend 1K-Geophone

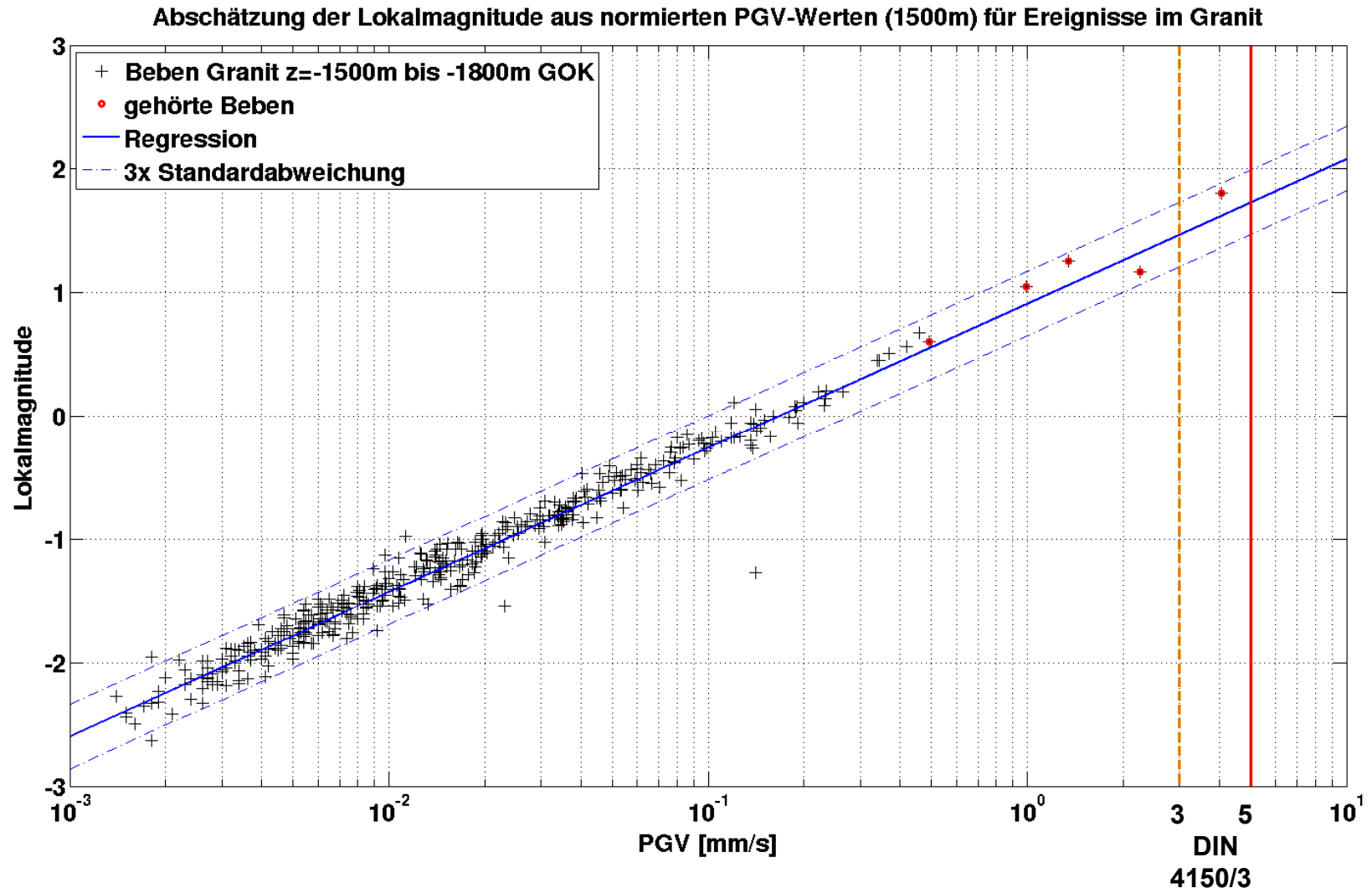


# Durchgeführte Arbeiten

- Sichtung und Zusammenstellung der Daten
- Umwandlung der inhomogenen Daten in gängige Formate
- Abgleich der Messnetze
- Analyse makro,- mikroseismischer Daten im Umfeld der Grube
- Aufbau eines geologischen 3D-Modells
- Erstellung von Häufigkeitsverteilungen
- Korrelationen der induzierten Seismizität
- Ermittlung von Herdparametern
- ...



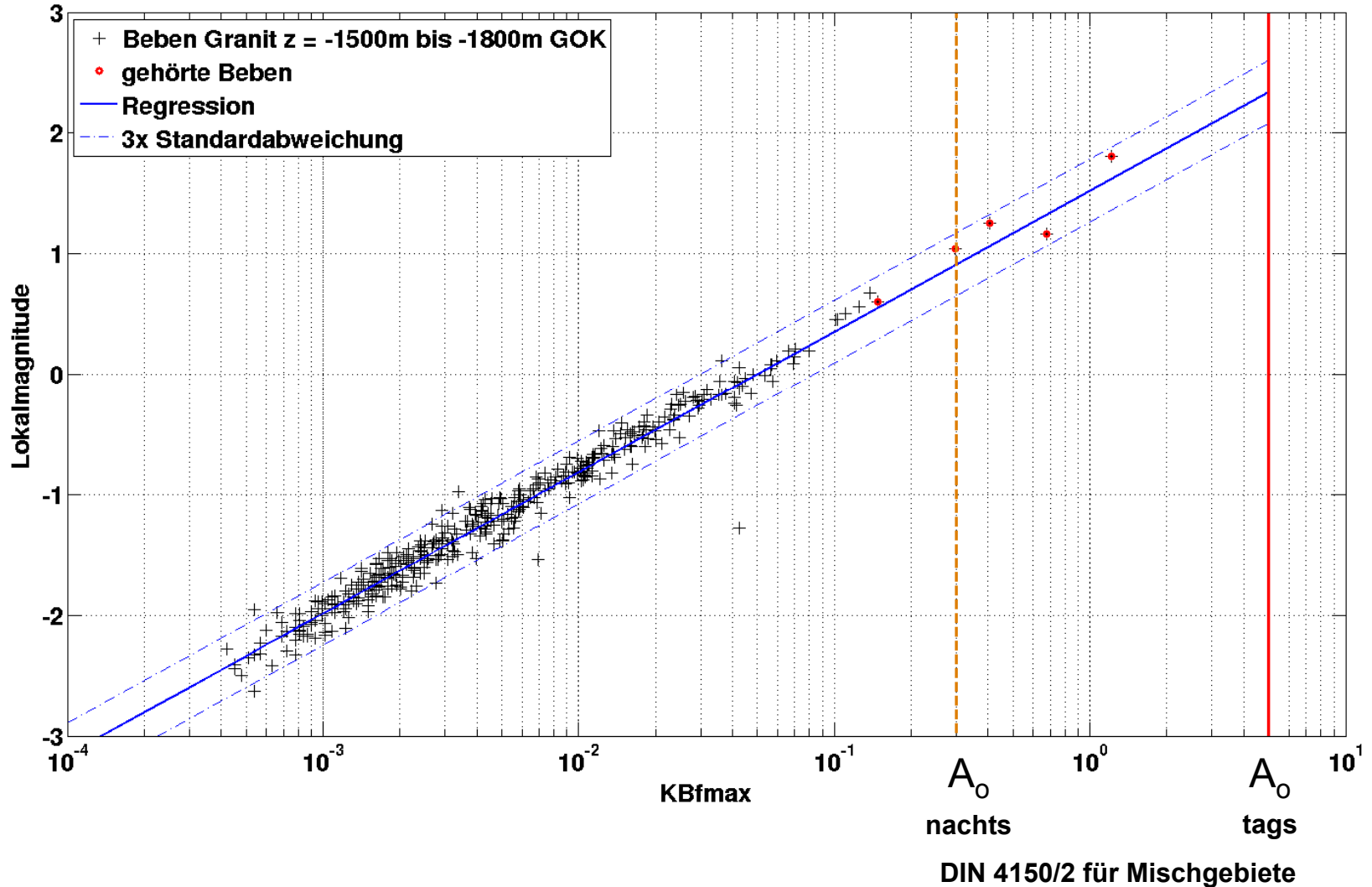
# Schwinggeschwindigkeit über dem $\pm$ Epizentrum





# Schwingstärke über dem $\pm$ Epizentrum

Abschätzung der Schwingstärke aus normierten PGV-Werten (1500m) für Ereignisse im Granit



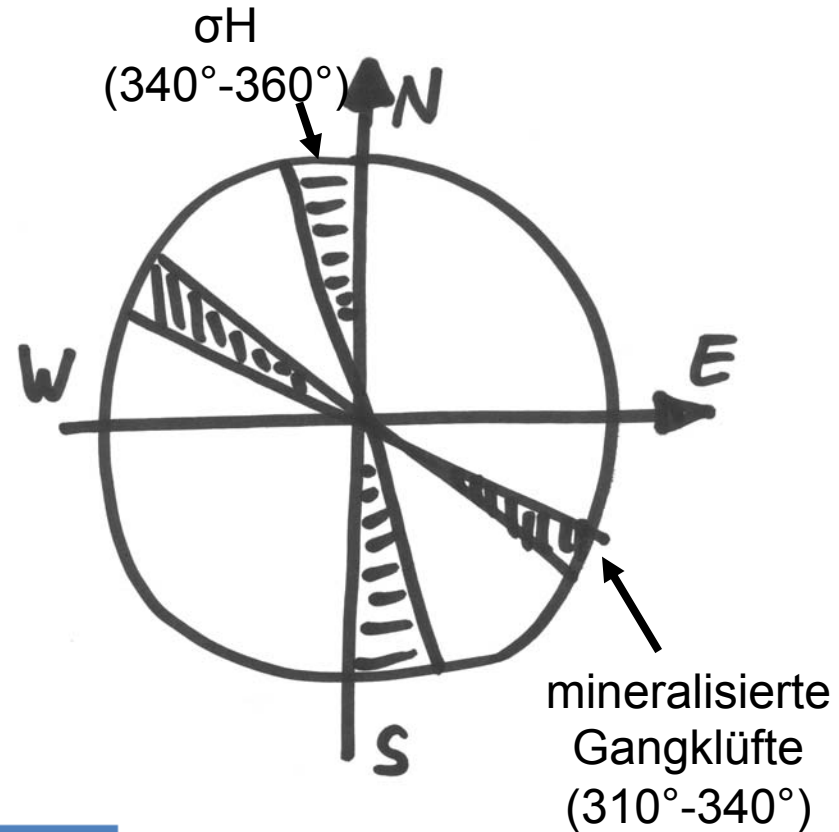
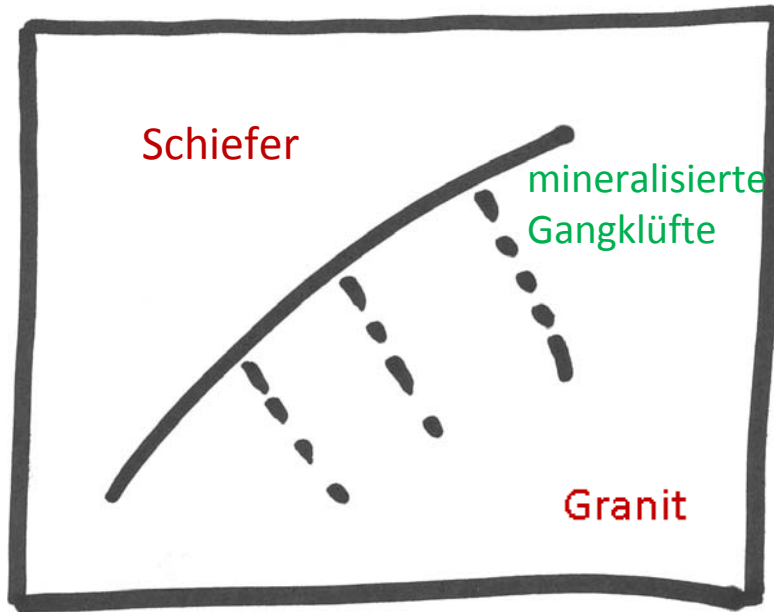
# Herdparameter

Bestimmt für 34 seismische Ereignisse  
(Madariaga Modell kreisrunde Herdfläche)

- seismische Momente: bis  $9,7e11$  Nm
- Herdradien: bis 32 m
- Stress-drops: bis 25 MPa
- Dislokationen: bis 18 mm
- seismische Energien: bis 7000 kJ



# Geomechanische Arbeitshypothesen

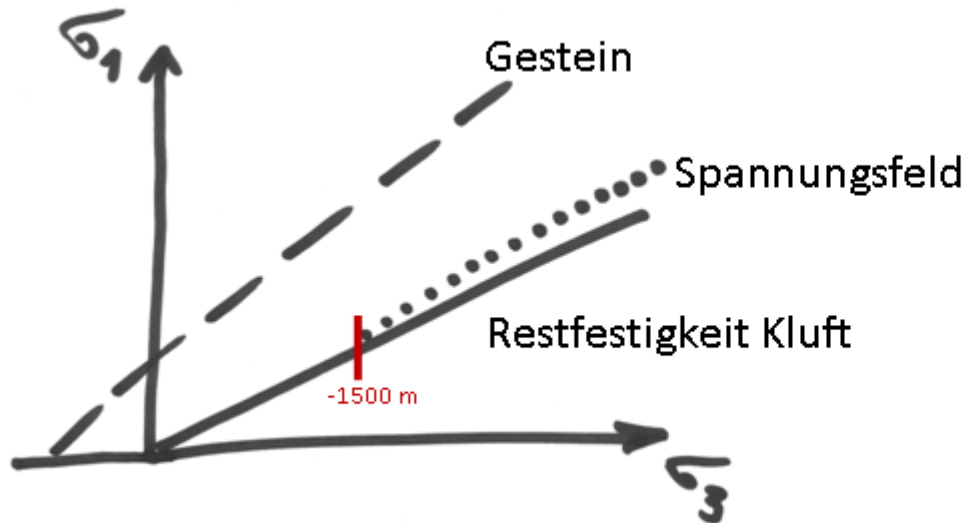


Hauptspannungsverhältnisse

	$\sigma_1/\sigma_v$	$\sigma_2/\sigma_v$	$\sigma_3/\sigma_v$
Granit	3.0	1.3	0.7
Schiefer	2.0	1.3	0.7

$\sigma_1 \sim \sigma_H$   
 $\sigma_2 \sim \sigma_v$   
 $\sigma_3 \sim \sigma_h$

# Geomechanische Arbeitshypothesen



## Energiespeichervermögen

Granit	0.05 MNm/m <sup>3</sup>
Schiefer	0.02 MNm/m <sup>3</sup>

### Auslösende Faktoren:

1. Änderung des Spannungszustandes (Erhöhung des Hauptspannungsverhältnisses) durch abbaubedingte Deformationen / Entspannung)
2. Änderung des Kluff-/Porenwasserdrucks durch Absenkung des GW-Spiegels bzw. Erhöhung des Drucks bei Flutung

Dominantes Regime:

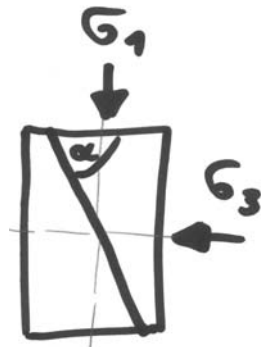
- Entspannung auf optimal orientierten Gangklüften
- strike-slip mit leichter Aufschiebung
- max. stress drop etwa 25 MPa
- Wirkung des Effektivspannungskonzepts bei Flutung



# Auswertung von 218 HFL im Granit:

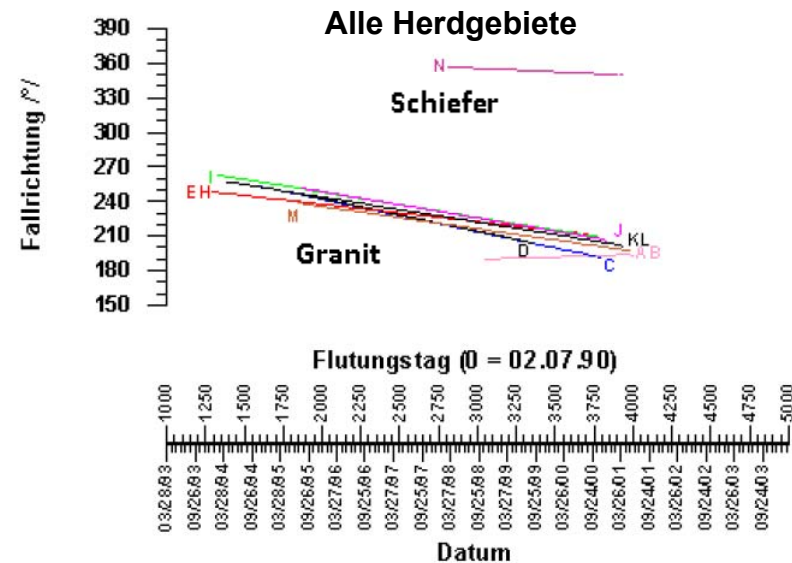
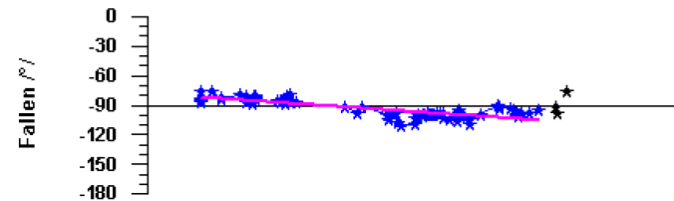
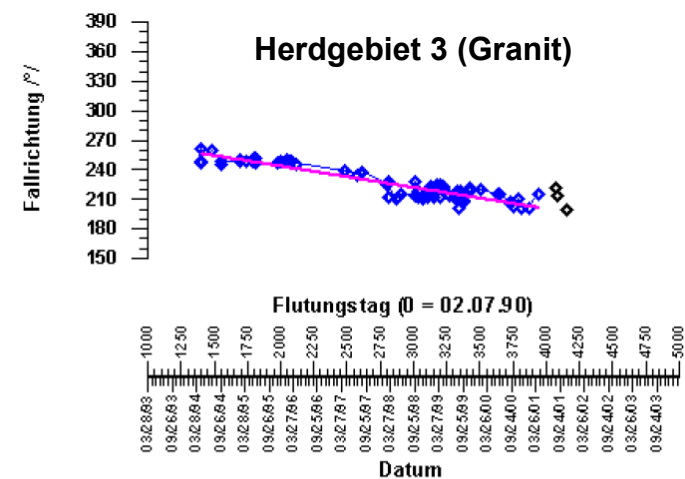
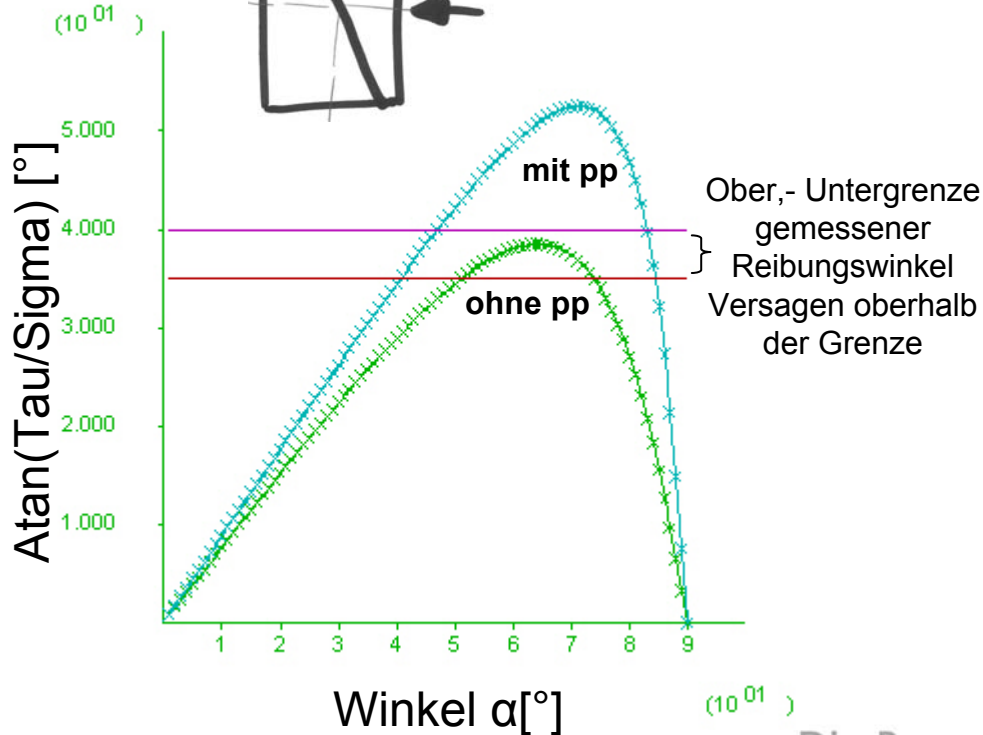
(jeweils 32 Stationen Herdtiefen ca. -1000m bis -2500m)

- Streichen NNW-WNW (340° - 310°) entspricht  $\alpha = 70^\circ - 40^\circ$
- überwiegend steil einfallend
- Rotation der Herdflächen ?



$$\sigma_1 = 4.3 \cdot \sigma_3$$

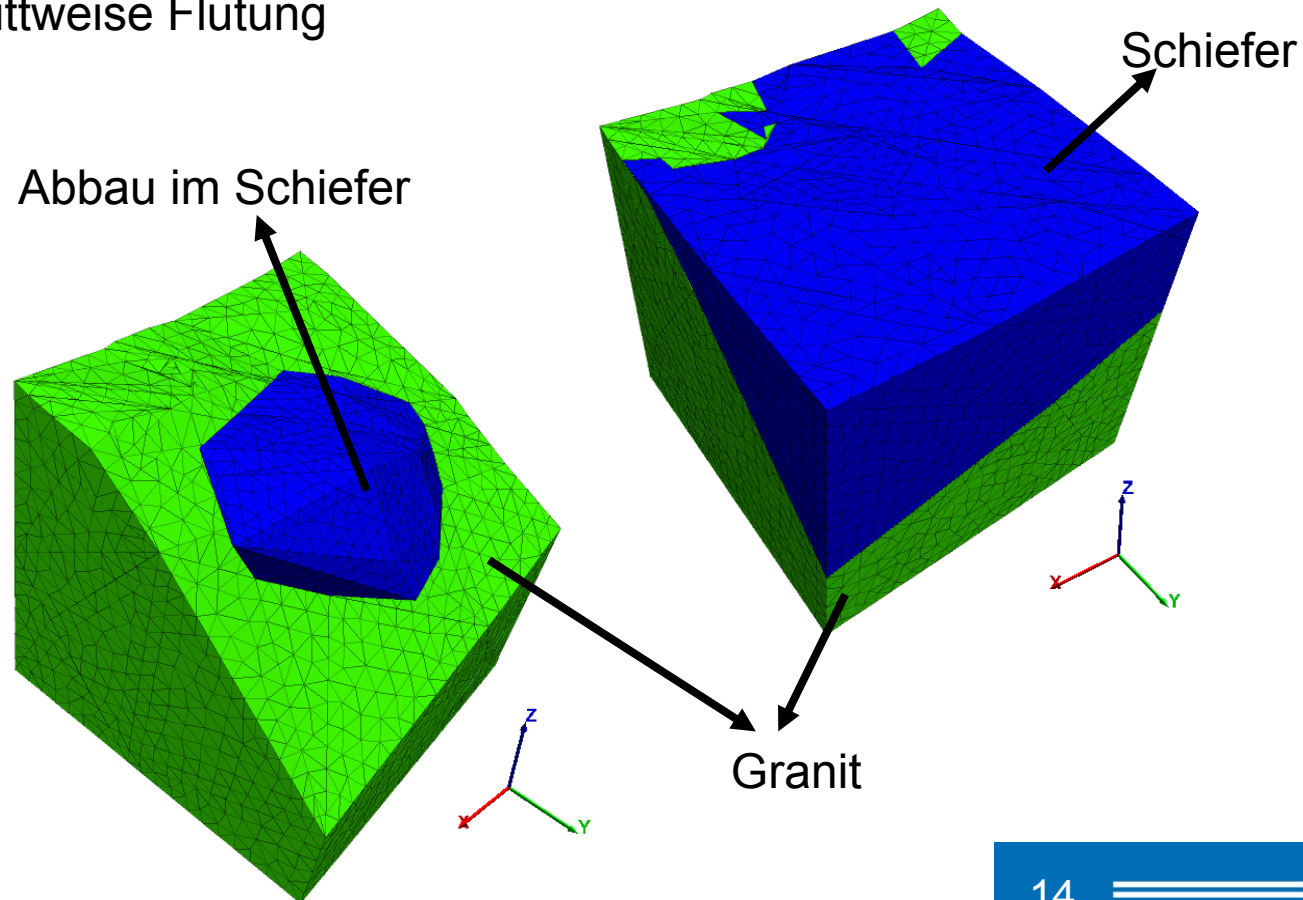
$$pp = 0.133 \cdot \sigma_1$$



# Numerische Simulation mit 3DEC

## Modellaufbau:

- Initialisierung des Spannungsfeldes gemäß der Messergebnisse
- geologischer Aufbau mit Topographie
- Kleinklüfte als ‚ubiquitous joints‘ (Parallel laufende Klüfte) verschmiert
- Nachfahren der Belastungsgeschichte: Absenken Wasserspiegel + Herstellung Hohlräume sowie schrittweise Flutung



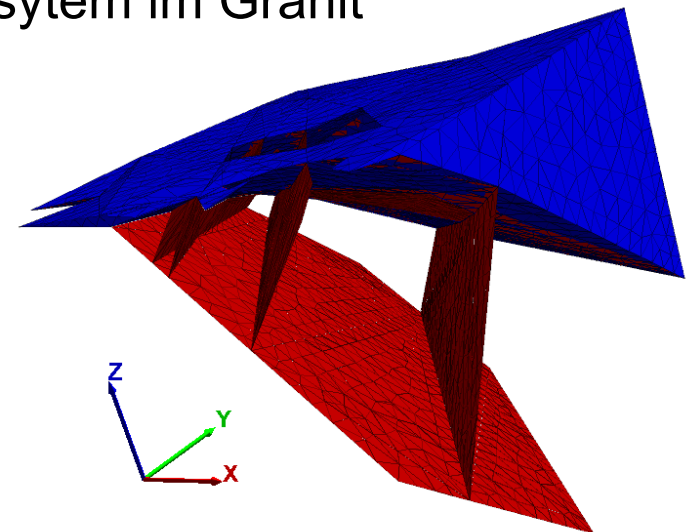
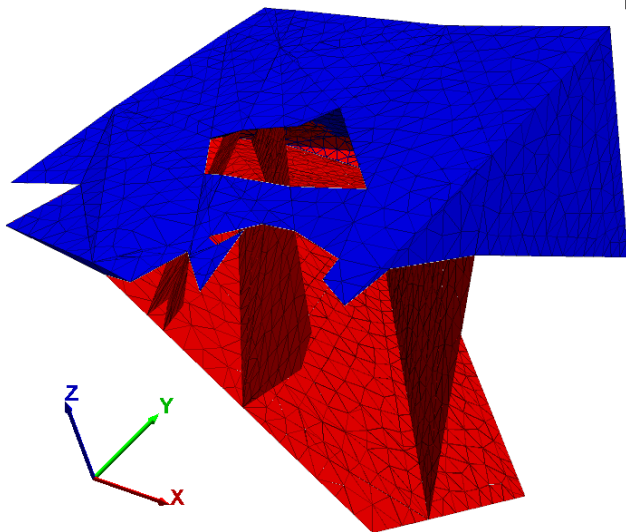
Modellaufbau: ca.  
6 x 6 x 6 km,  
erweiterbar durch  
Modellrahmen

# Numerische Simulation mit 3DEC

## Zielstellung:

- Überprüfung der allgemeinen Bewegungshypothese
- Abgleich seismische Messungen – geotechnische Messungen – numerische Simulationen
- Ableitung präzisiertes Spannungsfeldmodell
- Erklärung der Seismizität bei Flutung

## Hauptstörungssystem im Granit

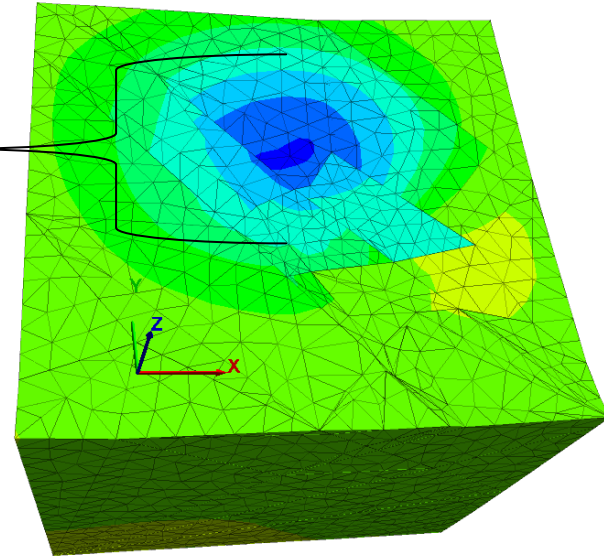
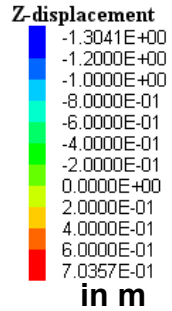


Störungen: rot / Schiefer (ohne Abbau): blau

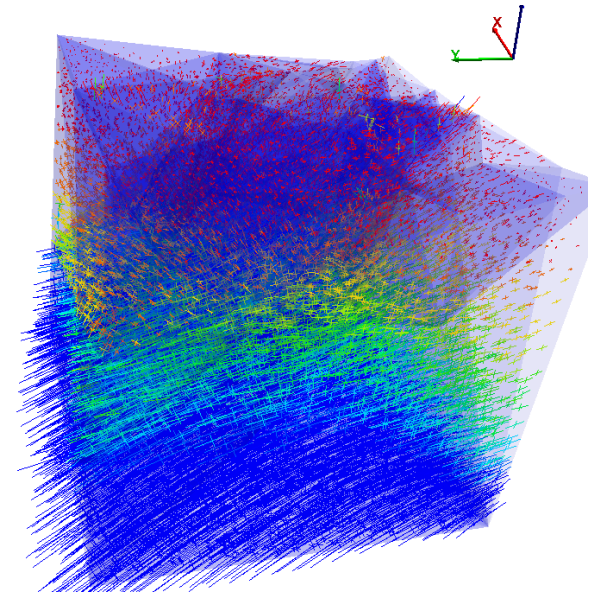
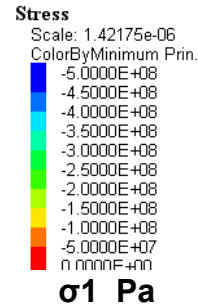
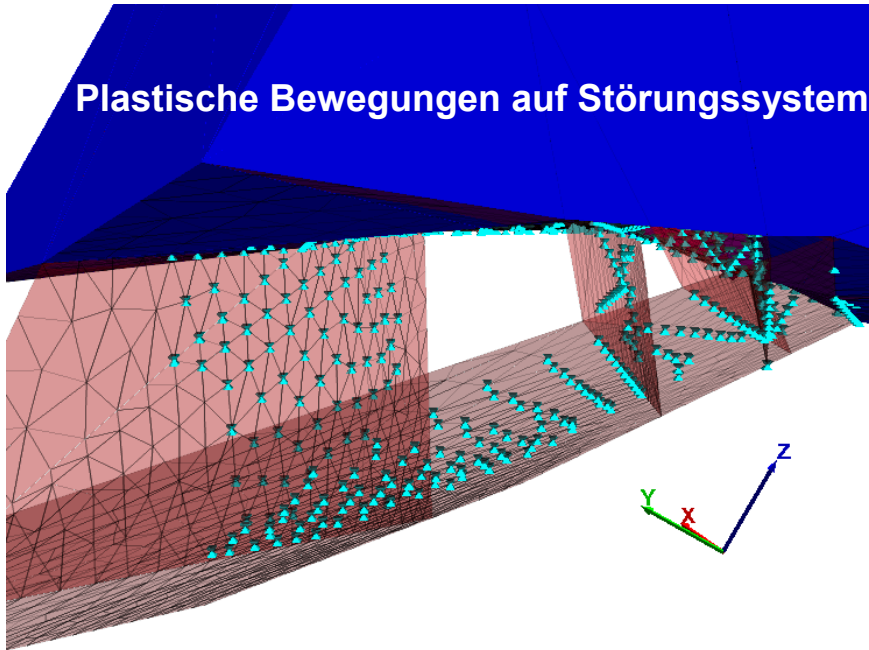
# Numerische Simulation mit 3DEC

Erste Ergebnisse  
aus der Testphase

~3 km



Plastische Bewegungen auf Störungssystem



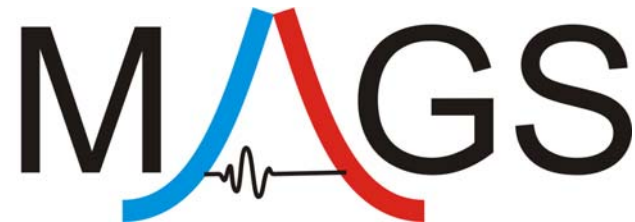


# Weitere Arbeiten

- Darstellung der Herdflächenlösungen im geologischen Modell
- Verbesserung des numerischen Modells
- Ableitung geologieabhängiger Dämpfungsparameter
- Ableitung von PGVs und Magnituden für Reservoirtiefen
- Prognosen für verschiedene Reservoirtiefen
- Vergleich mit anderen Standorten
- Prognosen für vergleichbare Standorte



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



Das Verbundprojekt MAGS – „Konzepte zur Begrenzung der mikroseismischen Aktivität bei der energetischen Nutzung geothermischer Systeme im tiefen Untergrund“ wird finanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und betreut vom Projektträger Jülich.