



## Mikroseismische Aktivität Geothermischer Systeme – Vom Einzelsystem zur großräumigen Nutzung

Förderung:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



FKZ 0325662A-G

Laufzeit: 10/2013 – 09/2016

Koordination: BGR (Dr. Wegler)



Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

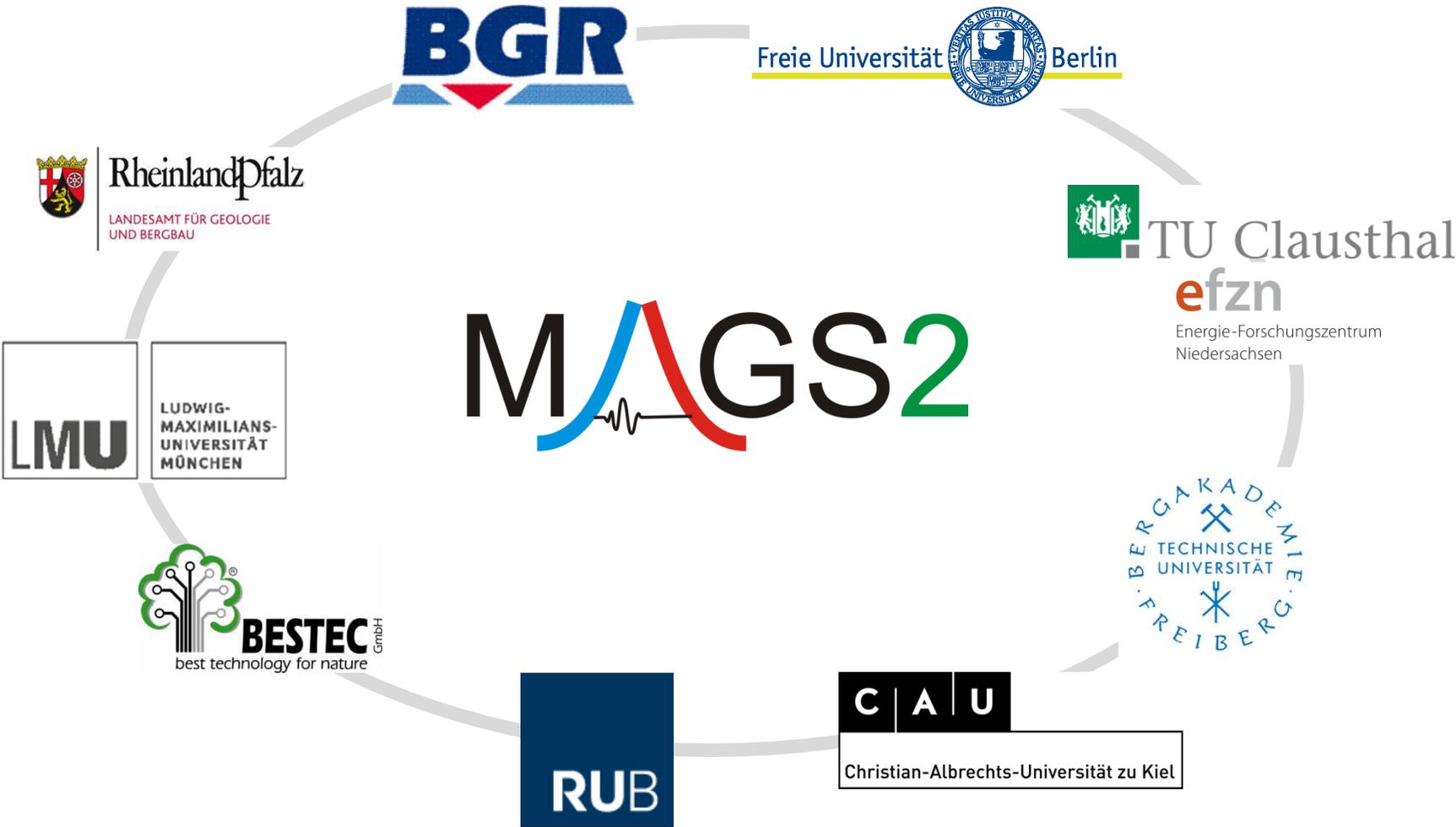
GEOZENTRUM HANNOVER

# Themenfelder

- Vom Einzelsystem zur großräumigen Nutzung -

- A) Monitoringkonzepte, Öffentlichkeitsarbeit
- B) Fluidinduzierte Seismizität in Geothermiefeldern
- C) Seismizitätsabschätzung vor dem Bohren

# Projektpartner



# Einzelprojekte

EP1: Seismische Monitoringkonzepte und bruchmechanische Bewertungen für komplexe Geothermiefelder am Beispiel Südpfalz (BGR, LGB-RLP)

EP2: Untersuchungen zur optimierten seismischen Überwachung hydrogeothermaler Systeme bei dichter räumlicher Lage der Bohrerlaubnisfelder am Beispiel der Situation im Süden Münchens (LMU)

EP3: Entwicklung eines Verfahrens zur hochauflösenden, manuellen und automatischen Ortung und Charakterisierung induzierter, seismischer Ereignisse in Tiefengeothermieprojekten (RUB, CAU, BESTEC)

EP4: Ermittlung der seismischen Gefährdung bei tiefer geothermischer Energiegewinnung unter Berücksichtigung der regionalen und lokalen geologisch-tektonischen Strukturen (BGR, LGB-RLP)

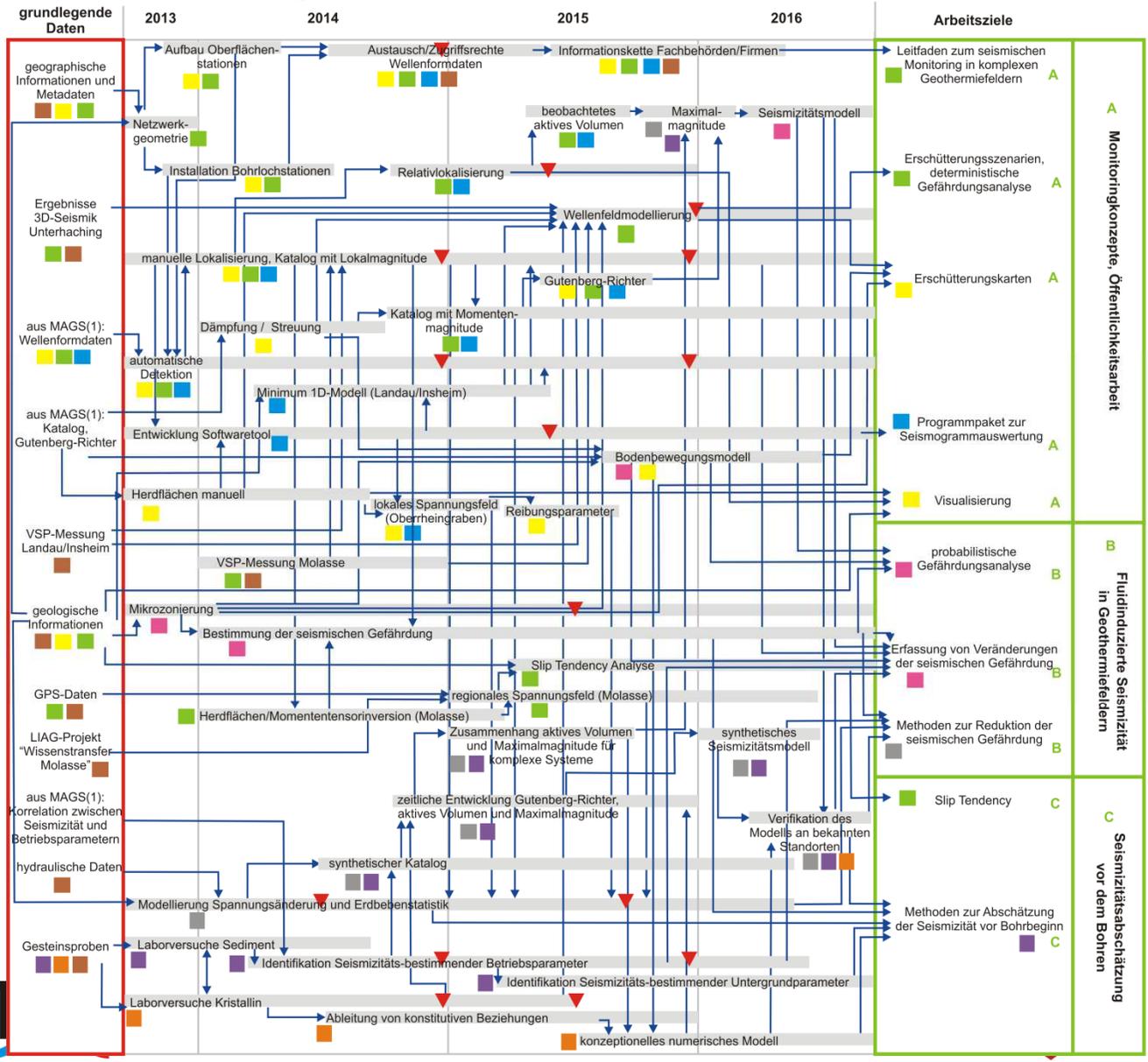


GEOZENTRUM HANNOVER

# Einzelprojekte

- EP5: Einfluss der Geometrie und Größe von geothermischen Systemen und geothermischen Feldern auf die statistischen Eigenschaften fluid-induzierter Seismizität im Produktionsbetrieb (FU Berlin)
- EP6: Entwicklung numerischer Analysemodelle zur lokalen seismischen Gefährdungseinschätzung vor Bohrbeginn und langfristige Bewertung von Geothermiefeldern unter Berücksichtigung THM:C gekoppelter Prozesse (TU Clausthal/efzn)
- EP7: Methoden zur Abschätzung der induzierten Seismizität durch petrothermale Geothermieanlagen vor Bohrbeginn mittels Laborversuchen und Interpretation über numerische Modelle (TU Bergakademie Freiberg)

# Vernetzung



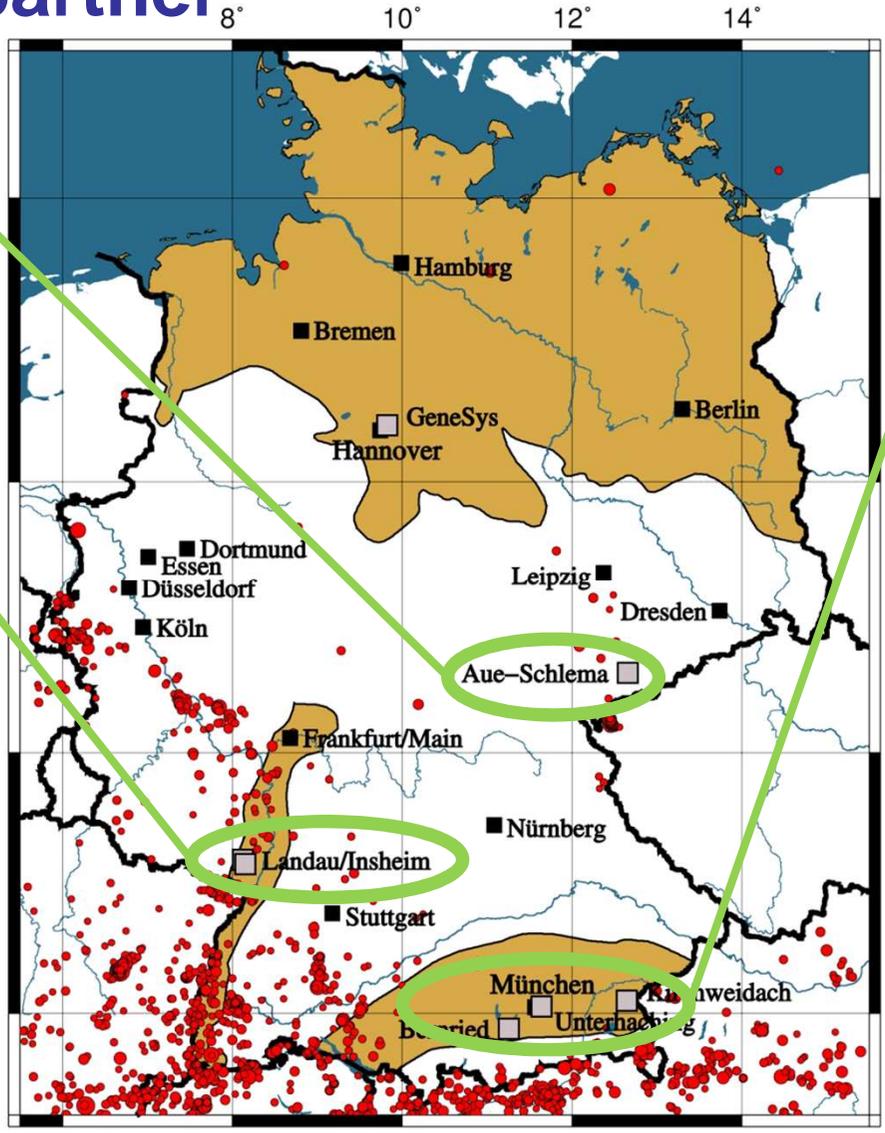
- EP1
- EP2
- EP3
- EP4
- EP5
- EP6
- EP7
- extern

▼ Meilenstein

Themenfeld



# Industriepartner



**Kristallin**

**Aue-Schlema**



**Oberrheinigraben**

**Landau**



**Insheim**



(Quellen: Schulz et al.,  
BGR-Erdbebenkatalog)

**Molasse**

**Bernried**



**Unterhaching**



**Taufkirchen**



**Erdwärme Grünwald**



**Kirchstockach,  
Dürrnhaar**



**IEOP Pullach**



**GEOZENTRUM HANNOVER**

# Themenfeld A

## A) Monitoringkonzepte, Öffentlichkeitsarbeit

- Leitfaden seismisches Monitoring Geothermiefelder
- Erschütterungsszenarien, deterministische Gefährdungsanalyse
- Erschütterungskarten
- Programmpaket zur Seismogrammauswertung
- Visualisierung

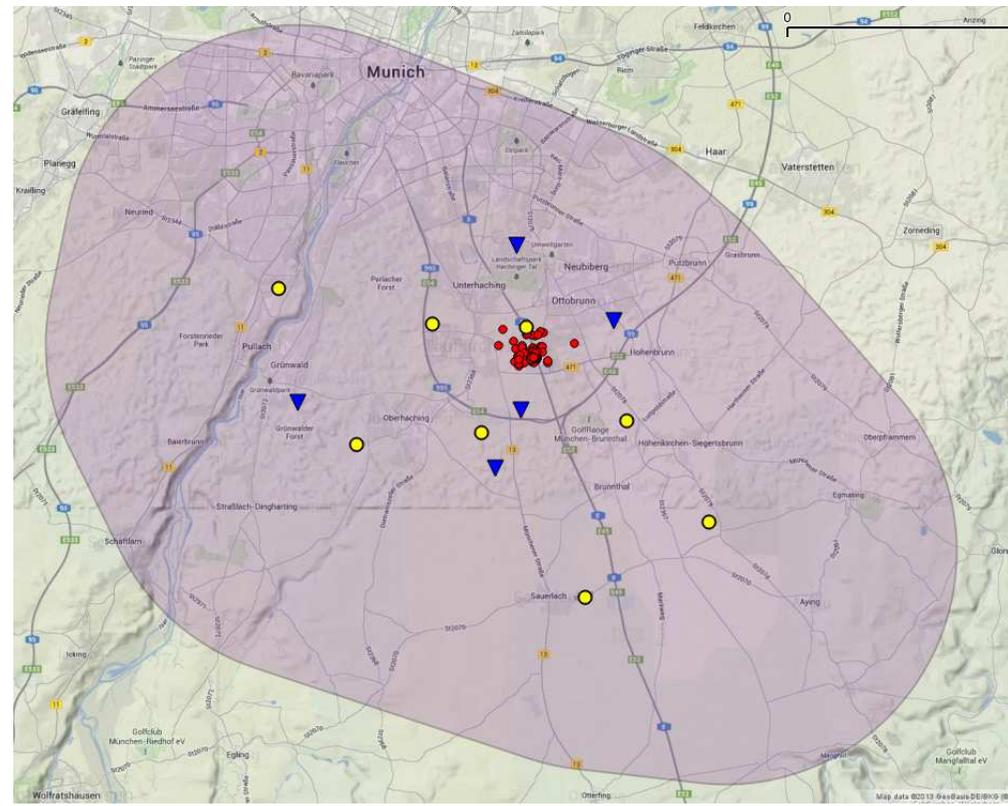
## B) Fluidinduzierte Seismizität in Geothermiefeldern

## C) Seismizitätsabschätzung vor dem Bohren

# Leitfaden zum seismischen Monitoring in komplexen Geothermiefeldern

- Gemeinsames Netz
- Netzwerkoptimierung
- Datenaustausch, Zugriffsrechte
- Informationskette Fachbehörden

- ▼ bisherige Stationen
- Mikrobeben Unterhaching
- Bohransatzpunkte der Dubletten/Tripletten
- ◀ 8km Umkreis für die Netzwerkoptimierung



Quelle: LMU

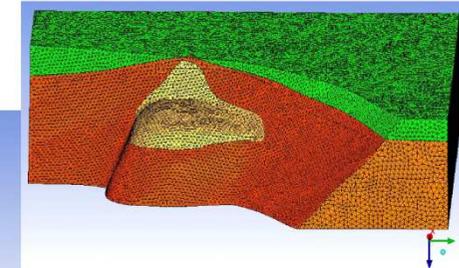
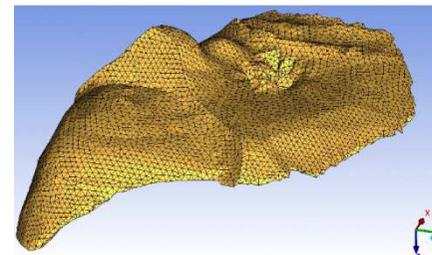
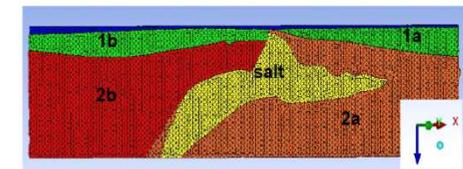
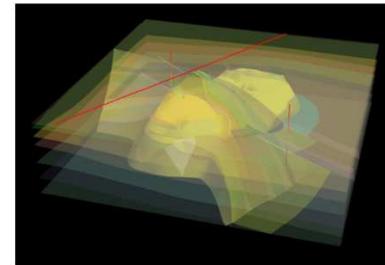


# Erschütterungsszenarien, deterministische Gefährdungsanalyse

- Wellenfeldsimulation für ein Ereignis mit gegebene Magnitude zur Beschreibung der Erschütterungswirkung an der Erdoberfläche
- deterministische Gefährdungsanalyse: Erschütterungsszenario für  $M_{\max}$

## Input

- Geschwindigkeitsmodell
- seismischen Dämpfung
- Abstrahlcharakteristik
- Eigenschaften des oberflächennahen Untergrunds (Mikrozonierung)

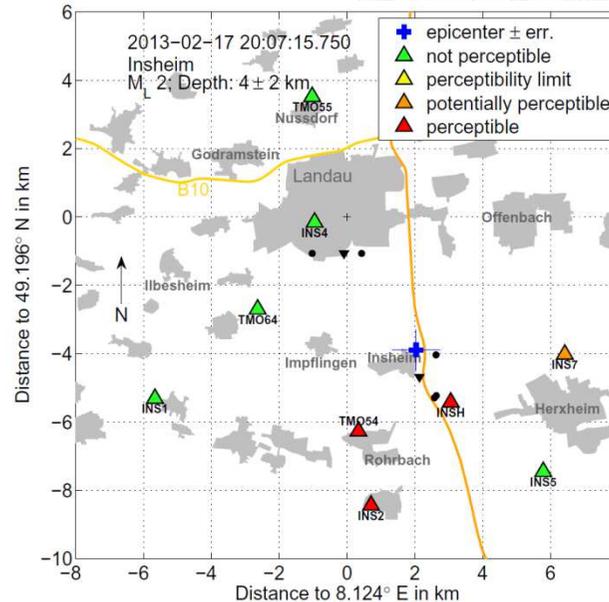
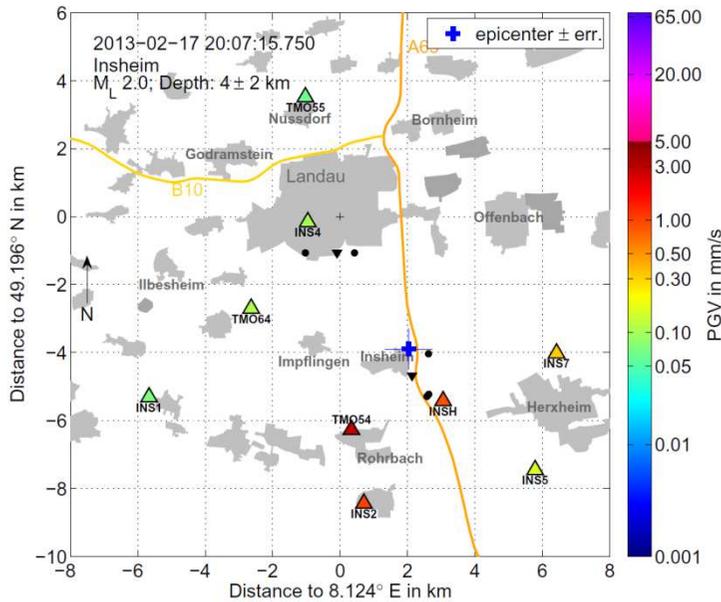
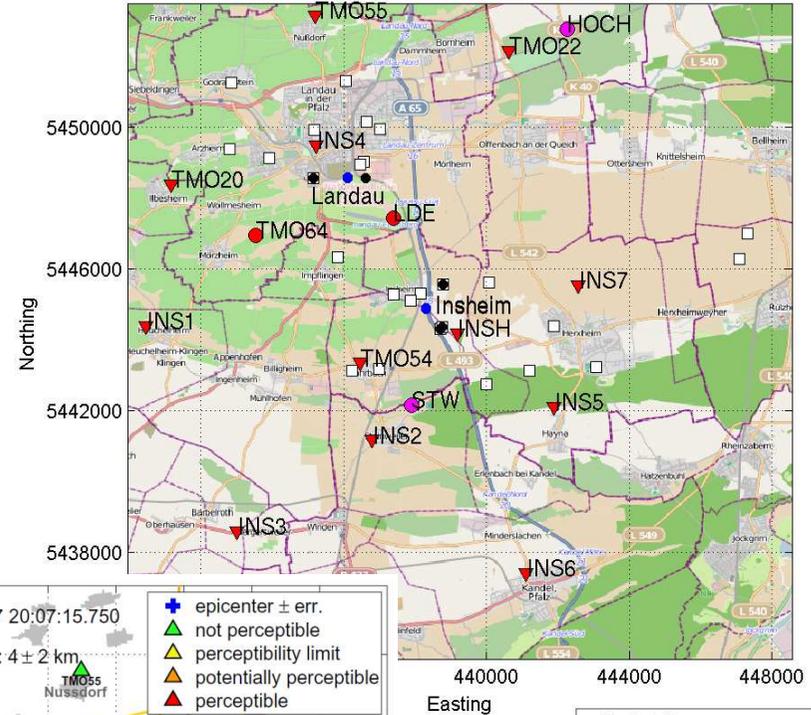


SEG Salt Dome Model

KÄSER et al, 2010. Wavefield modeling in exploration seismology using discontinuous Galerkin finite-element method on HPC infrastructure. The Leading Edge, Jan. 2010

# Erschütterungskarten

- Flächenhafte Auswertung der PGVs (Echtzeit)
- Berücksichtigung von Unsicherheiten
- Simulation Wellenausbreitung



- Betreiber
- ▼ MAGS Oberfl.-Stationen
- MAGS BL-Stationen
- MAGS BL-Stationen geplant
- Ansatzpunkte
- Landepunkte



Quelle: BGR, LGB-RLP, KIT, BESTEC



Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

GEOZENTRUM HANNOVER

# Programmpaket zur Seismogrammauswertung

Seismische Daten (offline)

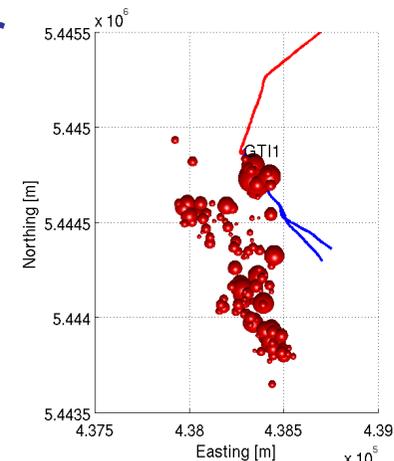
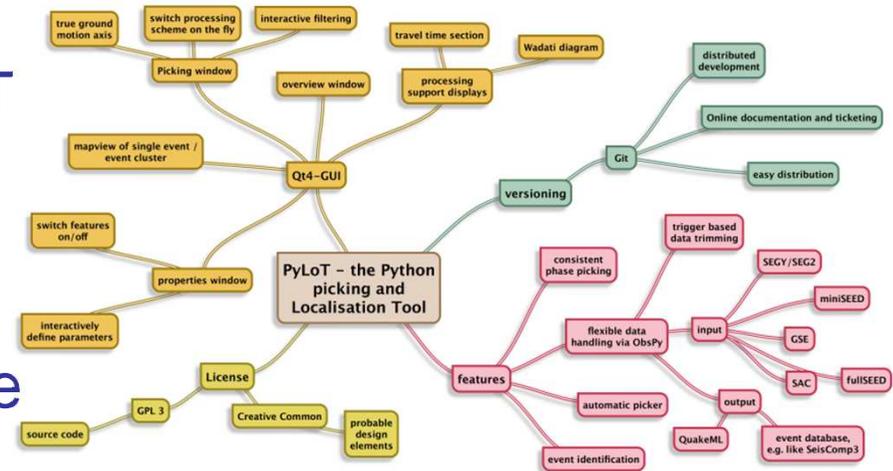
PyLoT, autoPILOT und VELST

- Weiterentwicklung für komplexe Geothermiefelder
- Verknüpfung der Programme



Automatische Charakterisierung seismischer Ereignisse:

- Detektion
- Lokalisierung
- Magnitude
- Herdmechanismen
- Herdradius
- Spannungsabfall
- Minimum-1D-Modell



Quelle: RUB/CAU/BESTEC

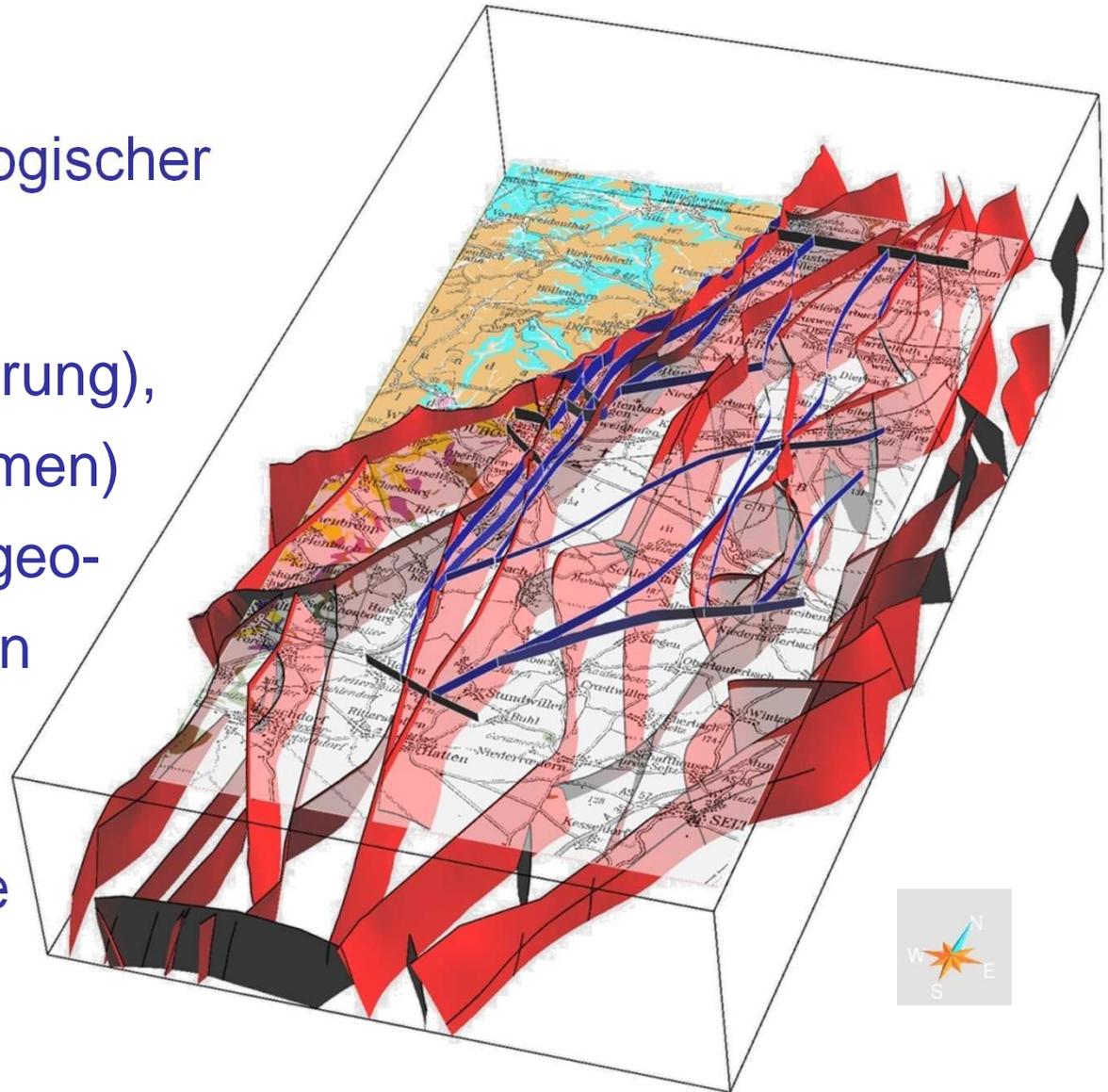


Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

GEOZENTRUM HANNOVER

# Visualisierung

- Bereitstellung geologischer Informationen
- Ort (Relativlokalisierung), Art (Herdmechanismen) der Ereignisse mit geologischen Strukturen überein bringen
- strukturgeologische Interpretation

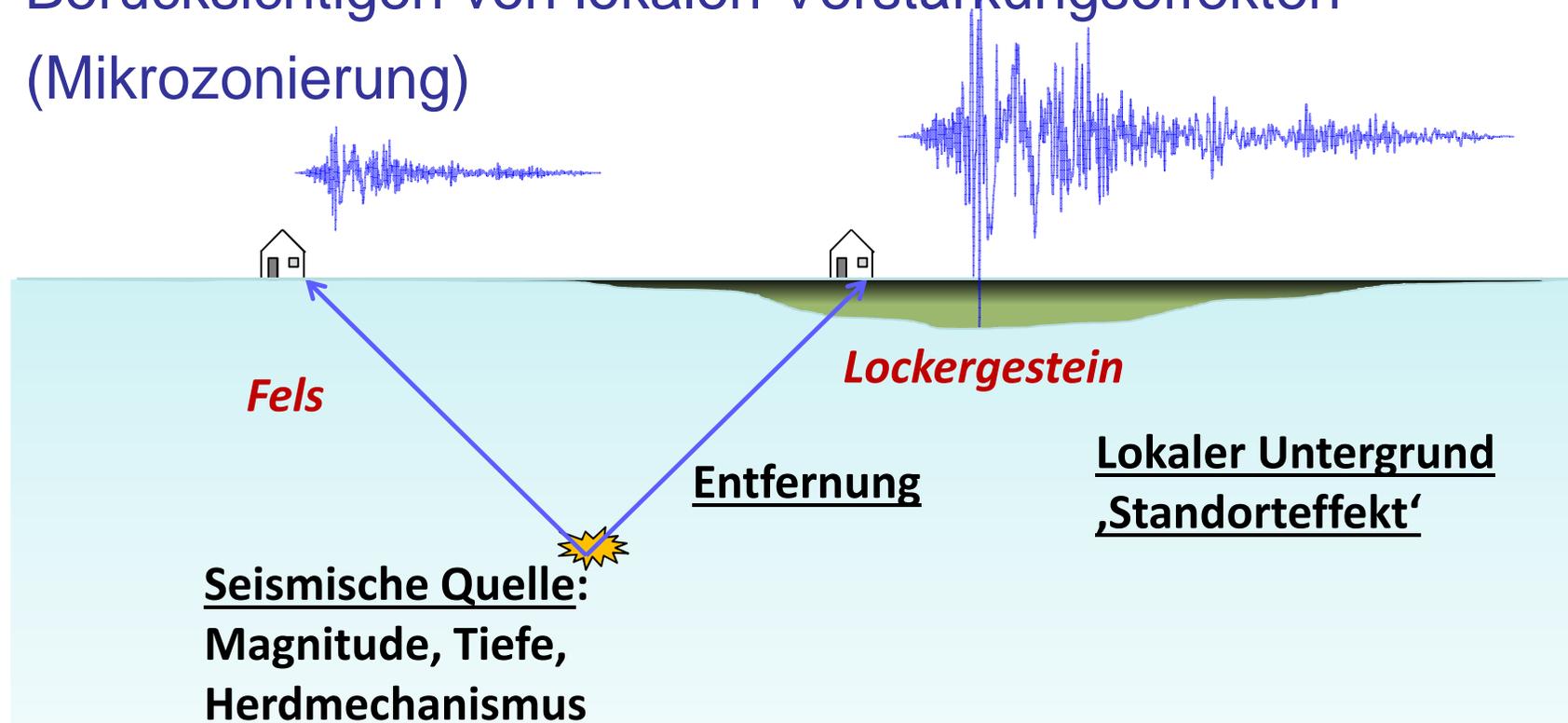


# Themenfelder und Arbeitsziele

- A) Monitoringkonzepte, Öffentlichkeitsarbeit
- B) Fluidinduzierte Seismizität in Geothermiefeldern
  - Probabilistische Gefährdungsanalyse
  - Erfassung von Veränderung der seismischen Gefährdung
  - Methoden zur Reduktion der seismischen Gefährdung
- C) Seismizitätsabschätzung vor dem Bohren

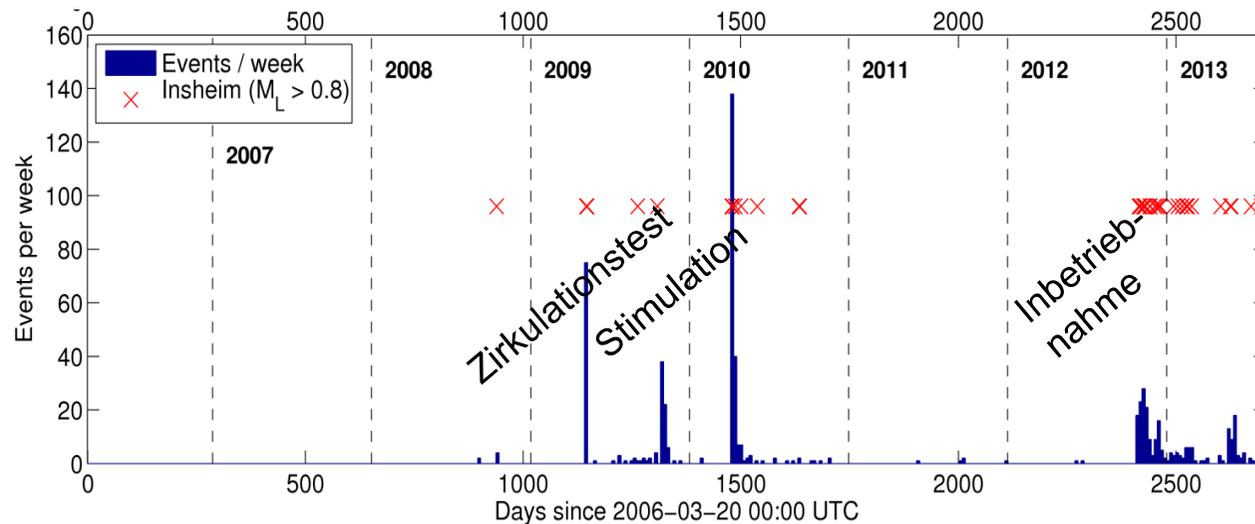
# Probabilistische Gefährdungsanalyse

- Auftretenswahrscheinlichkeit für Ereignisse mit gegebener Magnitude/ PGV/Intensität
- Berücksichtigen von lokalen Verstärkungseffekten (Mikrozonierung)



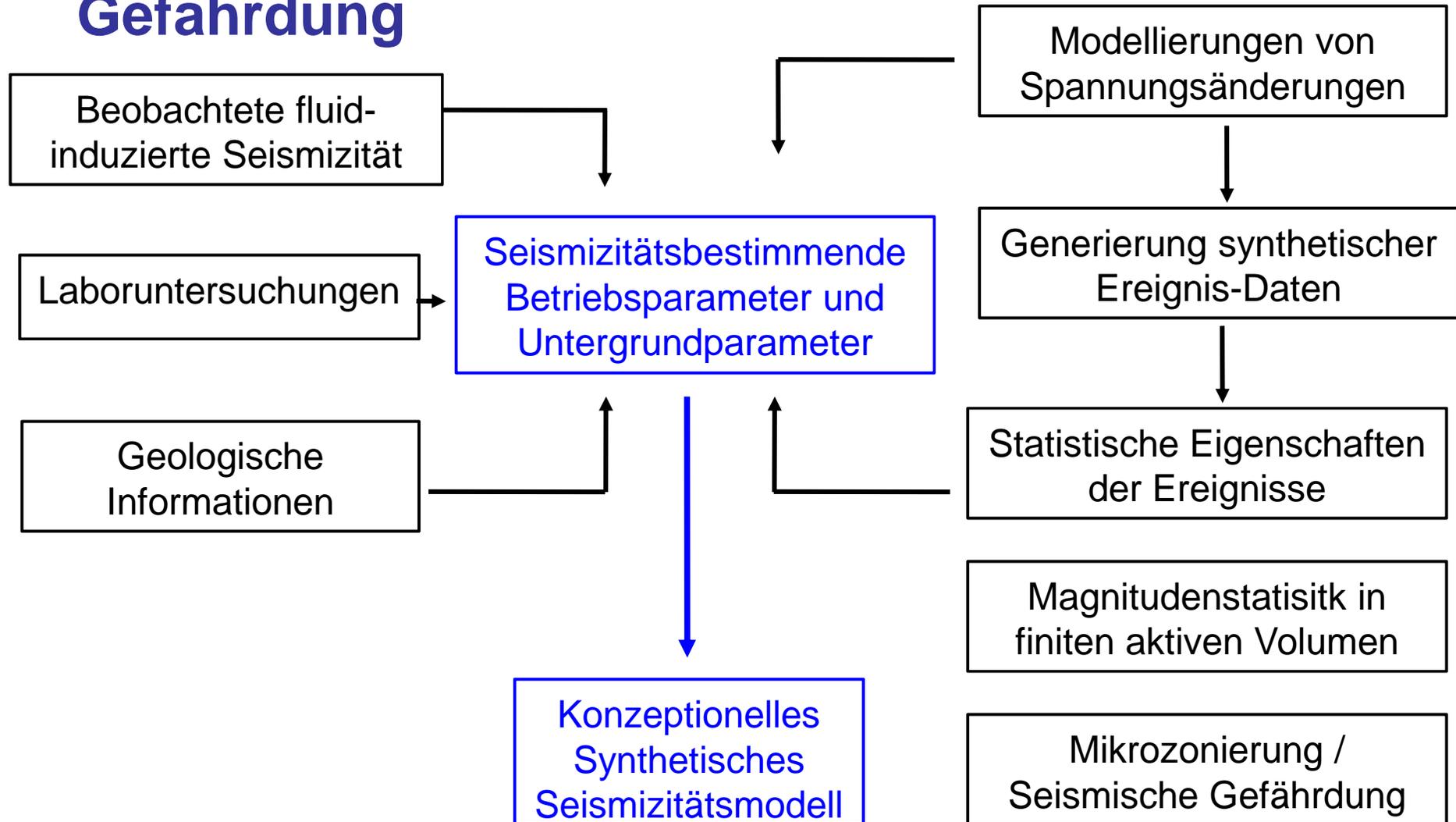
# Erfassung von Veränderungen der seismischen Gefährdung

- Induzierte Seismizität zeitlich nicht konstant



- Bestimmung der seismischen Gefährdung anhand der aktuellen Seismizitätsparameter: Variationen der Magnituden-Häufigkeits-Kurve und der Lokalisierungen
- Integration in Ampelsysteme

# Methoden zur Reduktion der seismischen Gefährdung

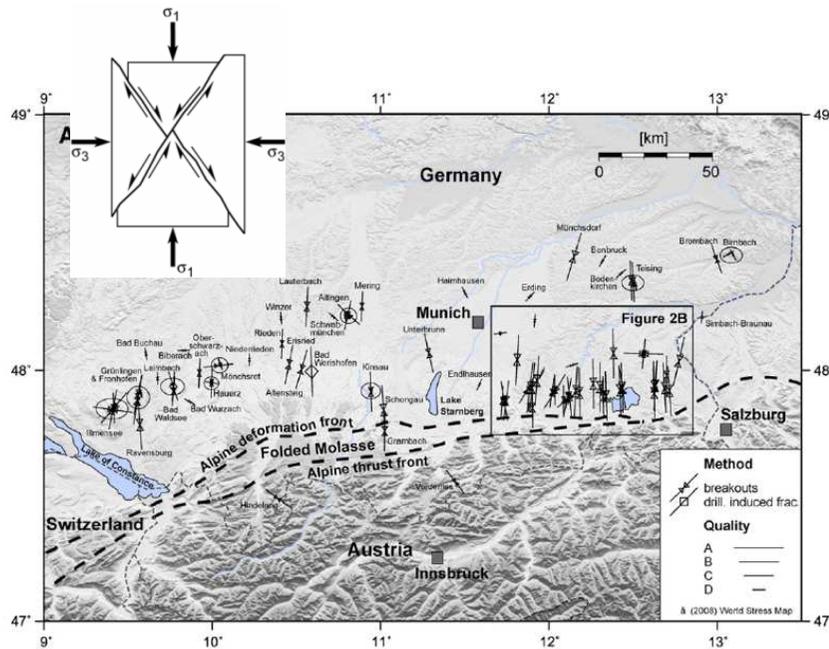


# Themenfelder und Arbeitsziele

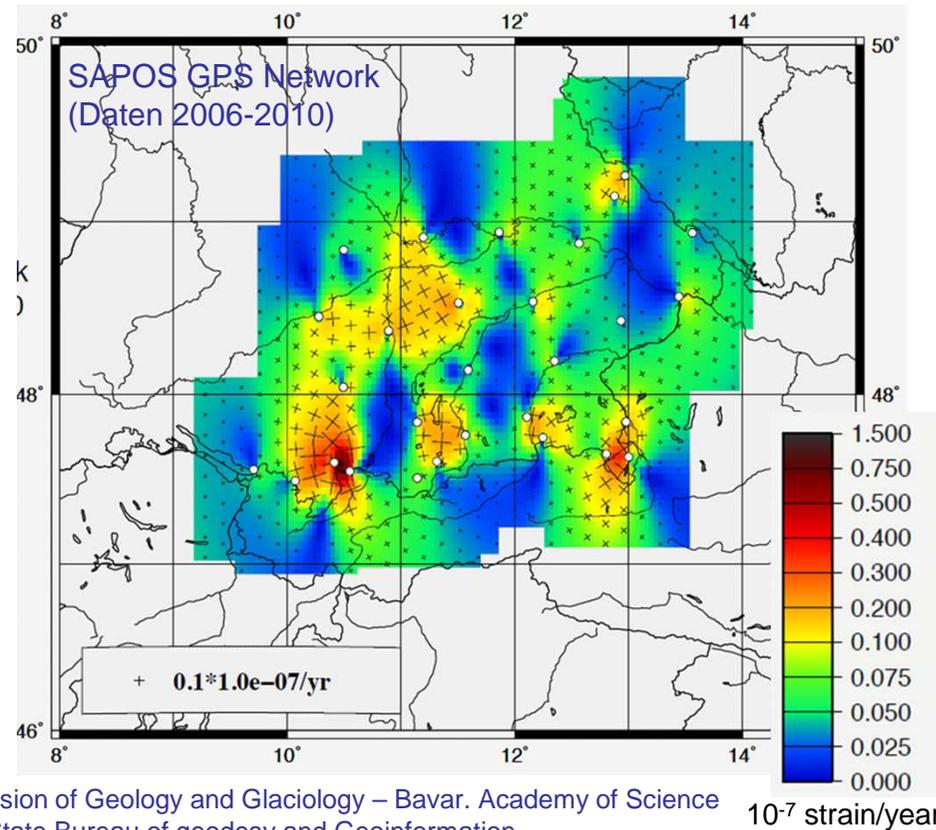
- A) Monitoringkonzepte, Öffentlichkeitsarbeit
- B) Fluidinduzierte Seismizität in Geothermiefeldern
- C) Seismizitätsabschätzung vor dem Bohren
  - Slip Tendency
  - Methoden zur Abschätzung der Seismizität vor Bohrbeginn

# Slip Tendency

- Orientierung der Klüfte zum Spannungsfeld
- Vorzugsrichtung bezüglich seismischer Aktivierbarkeit



Reinecker et al., 2009



Commission of Geology and Glaciology – Bavar. Academy of Science  
Bavar. State Bureau of godesy and Geoinformation

10<sup>-7</sup> strain/year



Quelle: LMU

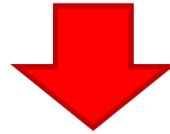


Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

GEOZENTRUM HANNOVER

# Methoden zur Abschätzung der Seismizität vor Bohrbeginn

standortbezogenes Prozessverständnis  
(MAGS1, eigene Labordaten bzgl. Gesteinscharakteristika)



numerische Analysen:

zeitliche Entwicklung v. Spannungen, Gutenberg-Richter & aktivem Volumen  
(Parameterstudien + Sensitivitätsanalysen für Untergrundparameter in Abhängigkeit definierter Stimulations- und Betriebsszenarien)

# Zusammenfassung

**MAGS2** Mikroseismische Aktivität Geothermischer Systeme  
– Vom Einzelsystem zur großräumigen Nutzung

## Themenfelder

A - Monitoringkonzepte für komplexe Geothermiefelder

B - Fluidinduzierter Seismizität in komplexen Geothermiefeldern

C - Übertragbarkeit auf neu zu erschließende Standorte

Das Verbundprojekt **MAGS2** - Mikroseismischen Aktivität geothermischer Systeme - **Vom Einzelsystem zur großräumigen Nutzung** wird finanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und betreut vom Projektträger Jülich.

Förderkennzeichen: 0325662A-G



Projektträger für



Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

GEOZENTRUM HANNOVER

Das Verbundprojekt **MAGS2** - Mikroseismischen Aktivität geo-thermischer Systeme - **Vom Einzelsystem zur großräumigen Nutzung** wird finanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und betreut vom Projektträger Jülich.

**Förderkennzeichen:** 0325662A-G



Projektträger für



**Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit**



Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

**GEOZENTRUM HANNOVER**