

# EP3: Echtzeitauswertung induzierter Erdbeben und Gefährdungsabschätzung bei hydraulischen Stimulationen geothermischer Reservoire

Wegler, Vasterling, Bischoff

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.

Förderkennzeichen: 0325191A-F



Projektträger für



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



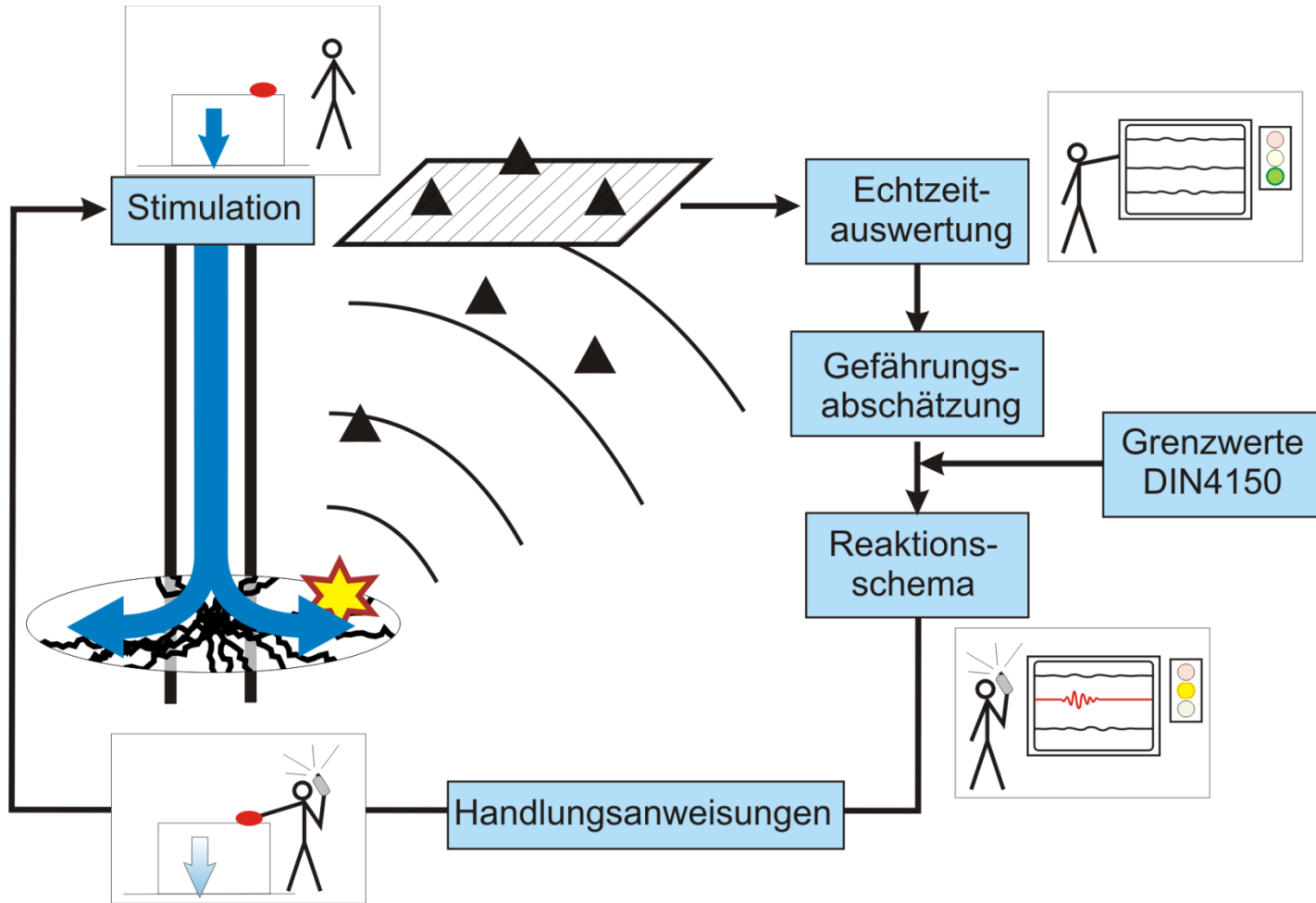
Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

GEOZENTRUM HANNOVER

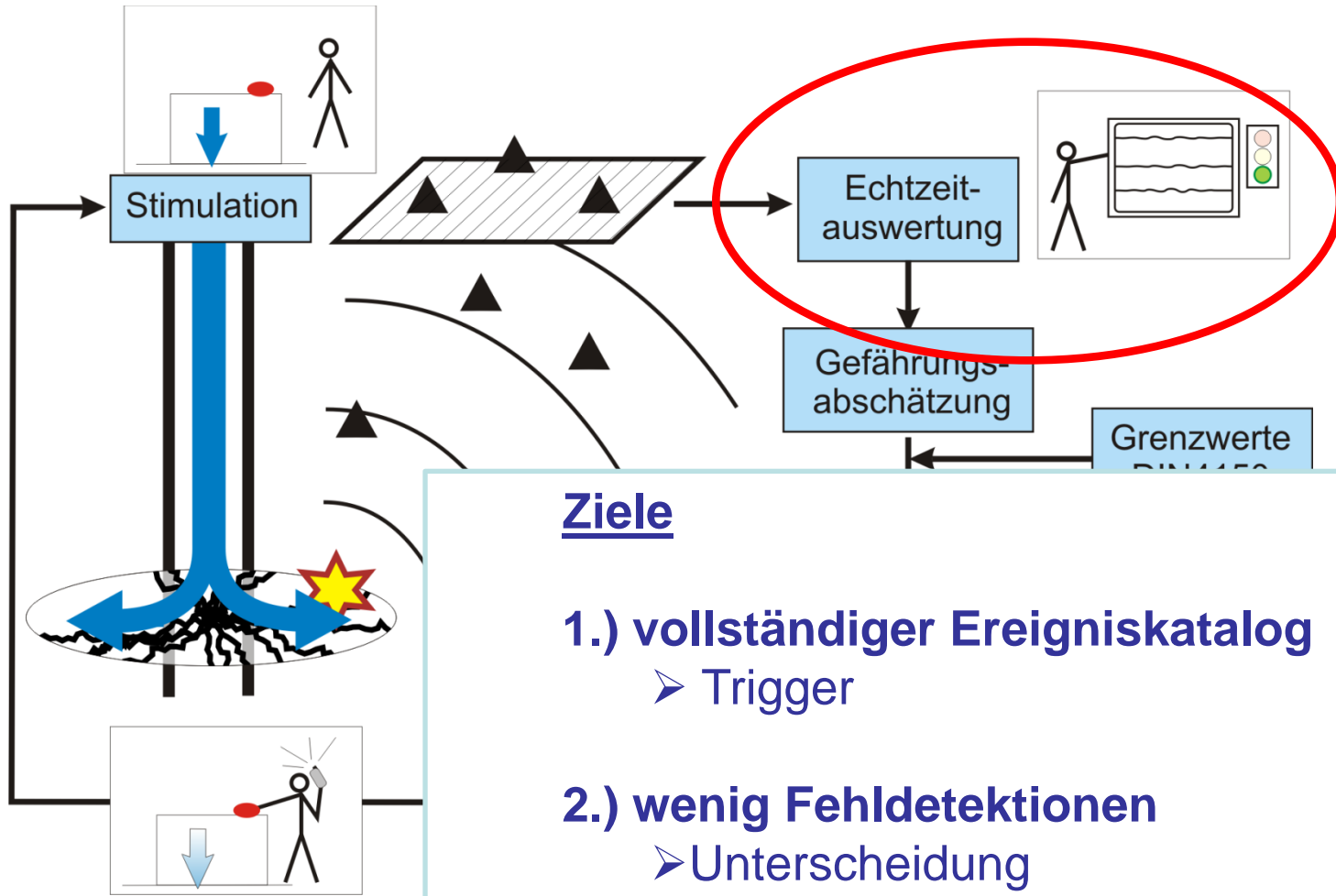
# Arbeitspakete

- AP1: Verbesserung des Echtzeitmonitorings
- AP2: Statistische Analyse
- AP3: Umsetzung in Ampelsystem
- AP4: Feldexperimente
- (AP5: Verbundübergreifende Abstimmung)

# Motivation



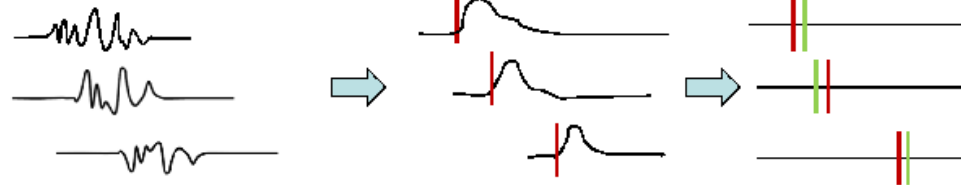
# Motivation



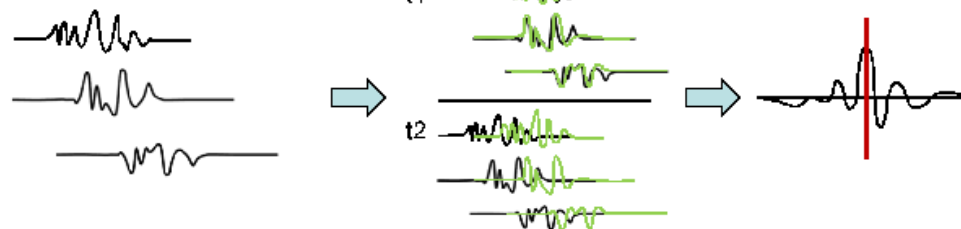
# Funktionsweise wellenformbasierter Detektor

- Mustererkennung: aktuelle Seismogramme werden in Echtzeit mit Wellenformen bekannter Ereignisse verglichen
- Ähnlichkeitskriterium (CF) aus Kreuzkorrelation berechnet
- hohe Werte = mögliches Ereignis interpretiert → Detektion.

## STA/LTA



## Mustererkennung



# Vorteile des wellenformbasierten Detektors

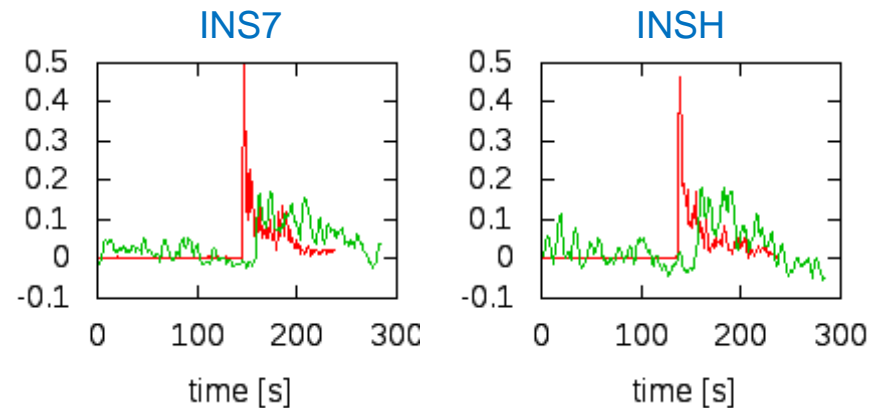
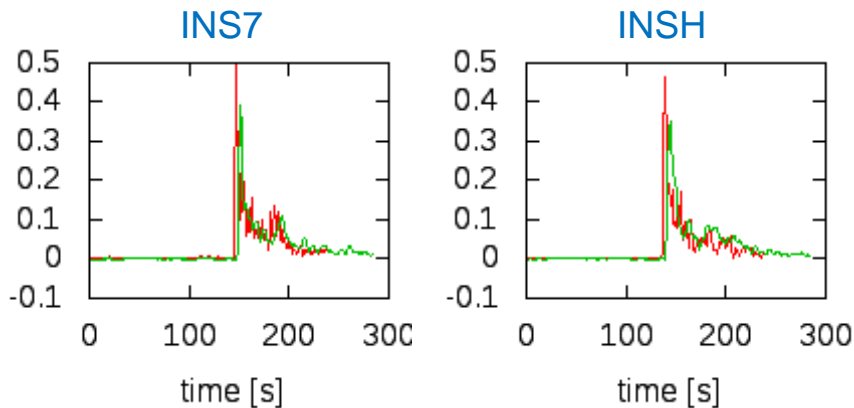
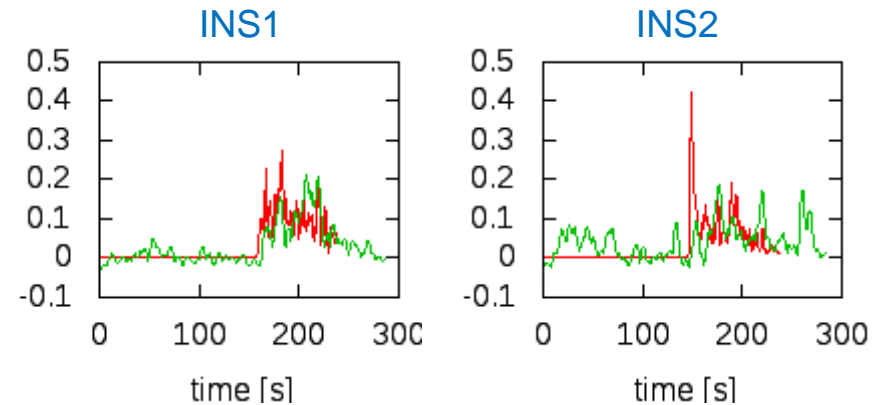
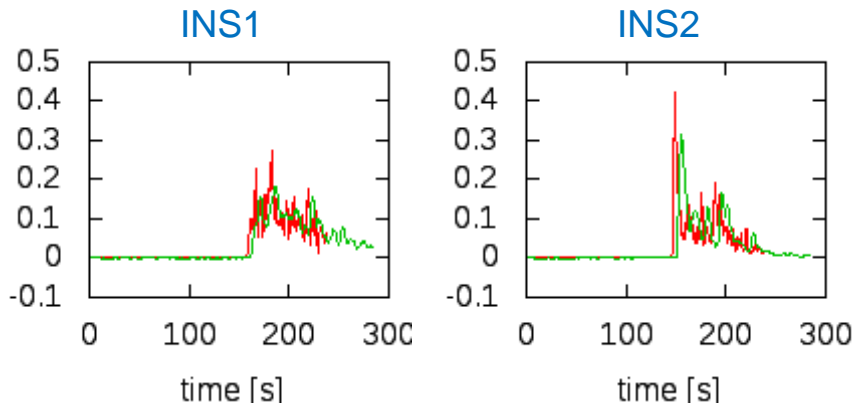
- Bewertung der gesamten Signalform
- berücksichtigt zeitliche Abfolge verschiedener Phasen
- berücksichtigt die Amplitudenverteilung
- berücksichtigt die Relativlaufzeiten zwischen Stationen

# Beispieldetektion

Master: Insheim, 26.01.2013,  $M_L = 2,0$  (LER) —

Insheim, 17.02.2013 —

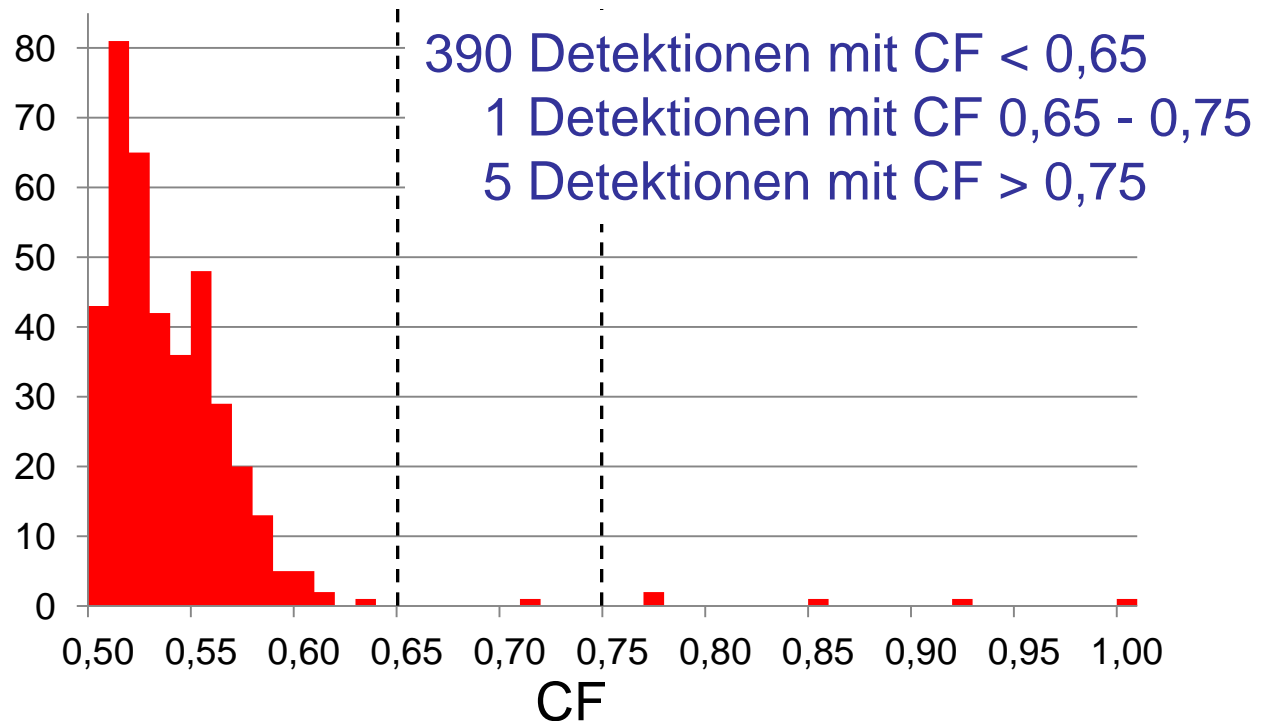
Landau, 28.04.2013 —



# Detektionsschwellwert

- Ereignis gilt als detektiert, wenn  $CF > \text{Detektionsschwellwert}$
- Schwellwert klein  $\rightarrow$  umfassendere Detektionsliste, mehr Fehldetektionen
- Schwellwert größer  $\rightarrow$  kürzere Detektionsliste, weniger Fehldetektionen

Anzahl Detektionen  
mit gegebenem  
Schwellwert  
(Beispiel: Februar  
2013)





# Integration in SeisComP3

Modul A: Echtzeit-Wellenformdetektor (EP3)



Detektion mit

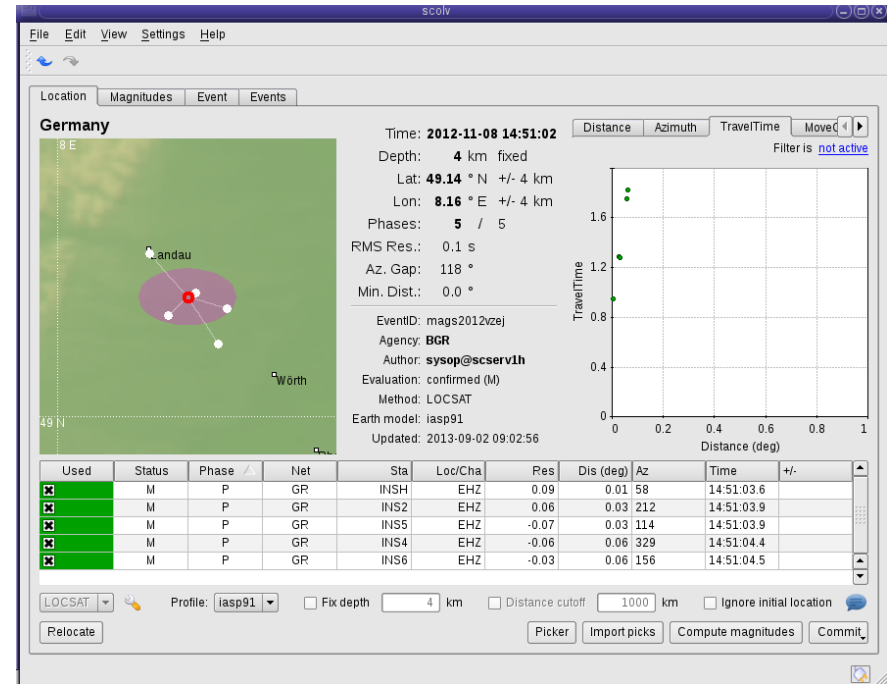
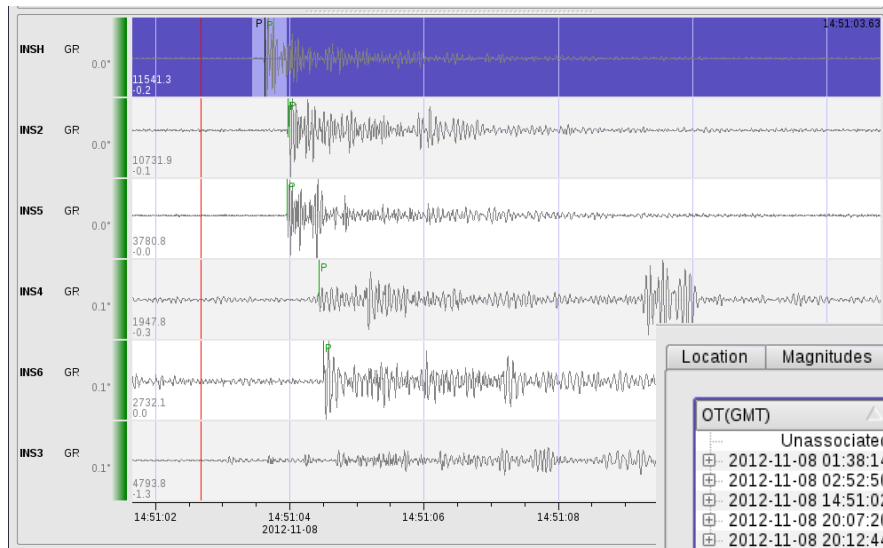
- Herdzeit
- Hypozentrum (= Hypozentrum Masterevent)
- Magnitude

Modul B: Auftrittswahrscheinlichkeiten (EP5)

- Unterauftrag an Fa. gempa
  - Umsetzung der Matlab-Routinen
  - Anbindung an Echtzeit-Daten-Handling innerhalb von SeisComp
  - Ausgabe und Visualisierung der Ergebnisse

# Integration in SeisComP3

- Inbetriebnahme Insheim
- Mobile Echtzeit-Stationen
- Echtzeit-Detektor basierend auf Wellenformähnlichkeit

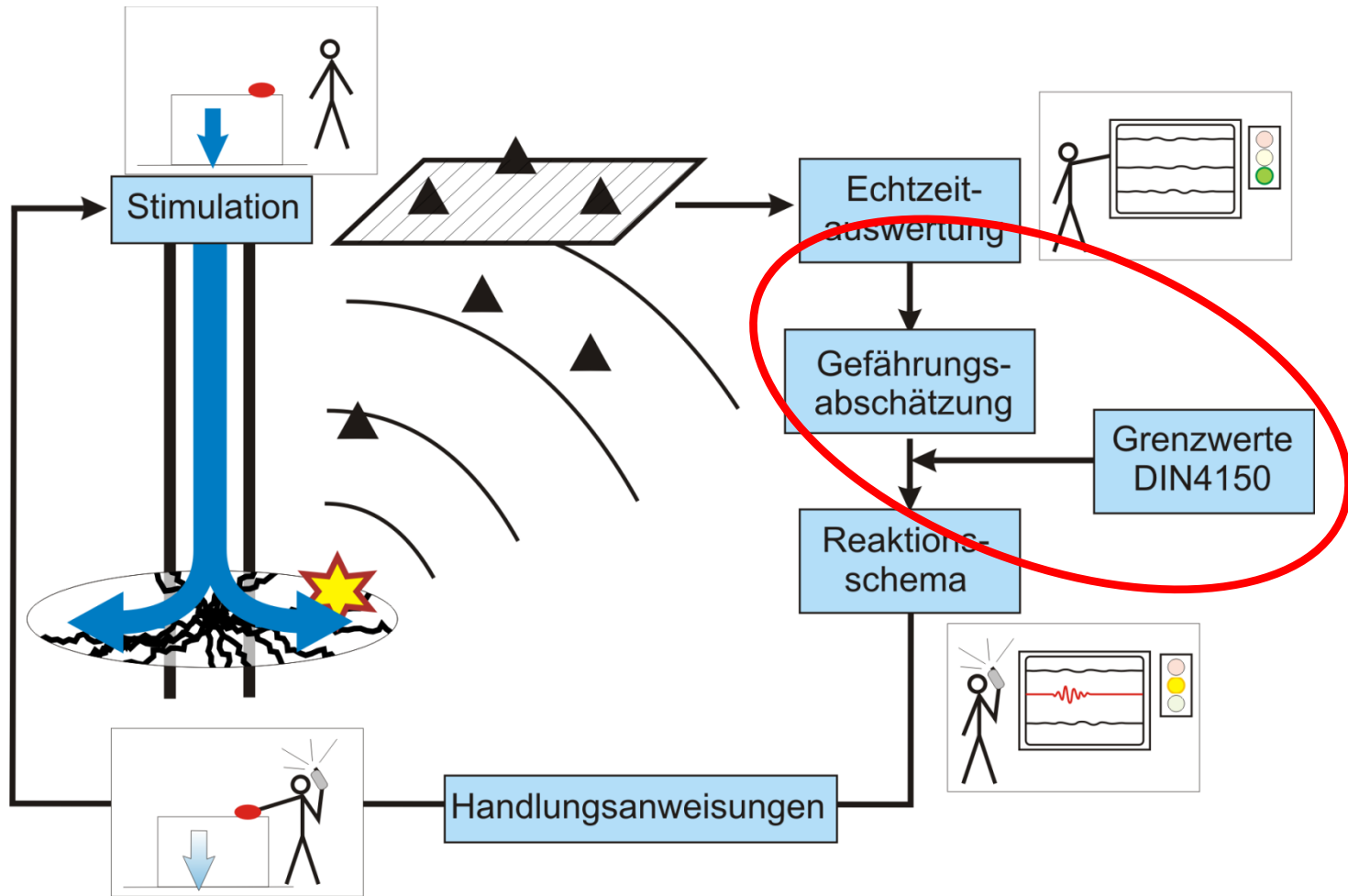


OT(GMT)	M	TP	Phases	Lat	Lon	Depth	Stat	Agency	Region	ID
Unassociated										
2012-11-08 01:38:14	0.1	MAGS	11	49.16 N	8.15 E	5 km	A	BGR	Germany	mags2012wef
2012-11-08 02:52:50	0.6	MAGS	15	49.16 N	8.15 E	5 km	A	BGR	Germany	mags2012vygr
2012-11-08 14:51:02	1.3	MAGS	18	49.16 N	8.15 E	5 km	A	BGR	Germany	mags2012vzej
2012-11-08 20:07:20	1.5	MAGS	16	49.16 N	8.15 E	5 km	A	BGR	Germany	mags2012vzou
2012-11-08 20:12:44	0.7	MAGS	17	49.16 N	8.15 E	5 km	A	BGR	Germany	mags2012vzoz

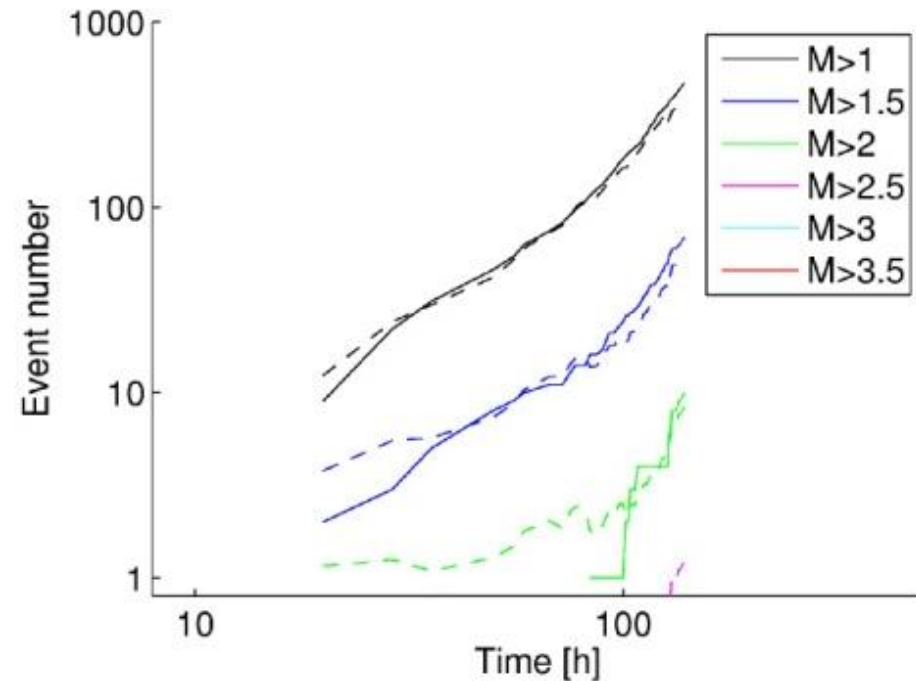
→ Detektion      → Zeit      → Magnitude      → Ort (über Masterevent)

# Vergleich mit manuellen Auswertungen

Tag	Uhrzeit	KIT (M <sub>L</sub> )	Detektion		SeisComp3 - Detektor		
			LER (M <sub>L</sub> )	Bestec (M <sub>L</sub> )	M <sub>L</sub>	Spuren	CF
08.11.2012	00:49:26.000			0,8	-		
08.11.2012	01:38:10.000	0,3		0,8	0,1	11	0,87
08.11.2012	02:52:50.540	0,9	0,9	0,9	0,6	15	0,88
08.11.2012	09:03:01.000			1,1	-		
08.11.2012	14:51:02.520	1,3	1,3	1,3	1,3	18	0,91
08.11.2012	20:07:20.720	1,4	1,4	1,4	1,5	16	0,87
08.11.2012	20:12:44.500	0,8	0,8	0,8	0,7	17	0,88
08.11.2012	20:57:15.349	0,4		0,8	-		



# Statistische Analyse: Stimulation

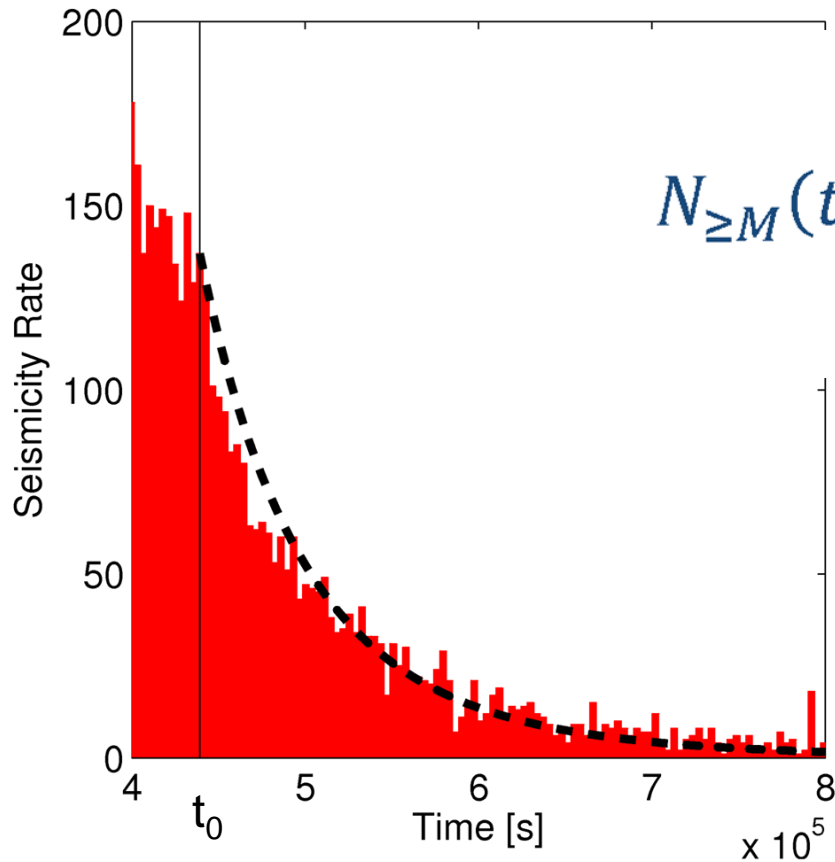


$$N_{\geq M}(t) = V_I(t) \cdot 10^{\Sigma - bM}$$

$$1 - P_{\geq M}(t) = 1 - \exp(-N_{\geq M}(t))$$

(Quelle: EP5, FU Berlin)

# Statistische Analyse: Shut In



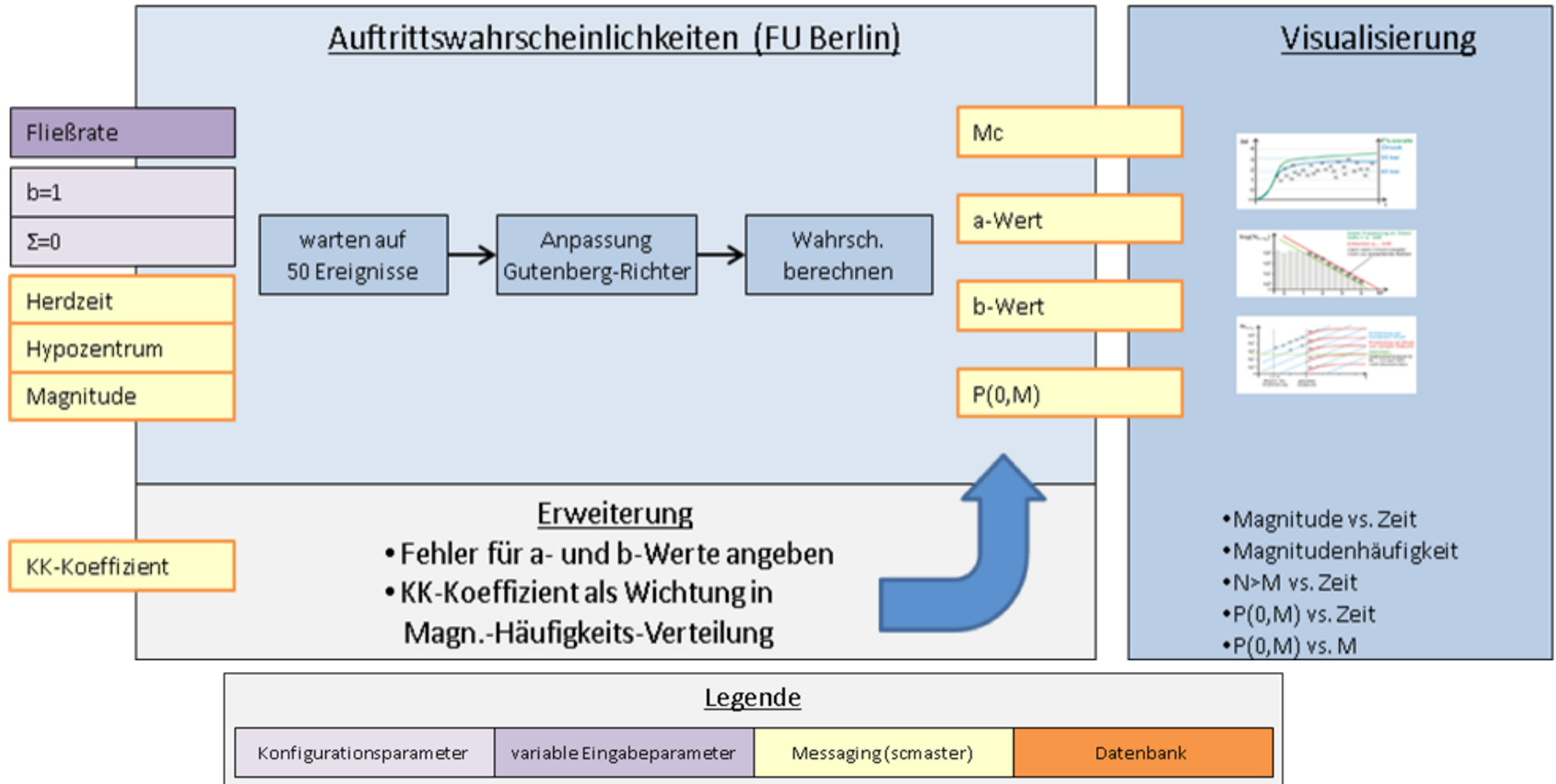
$$N_{\geq M}(t) = N_{\geq M}(t_0) \cdot \left[ 1 + \frac{1 - \left(\frac{t}{t_0}\right)^{1-p}}{p-1} \right]$$

$$1 - P_{\geq M}(t) = 1 - \exp(-N_{\geq M}(t))$$

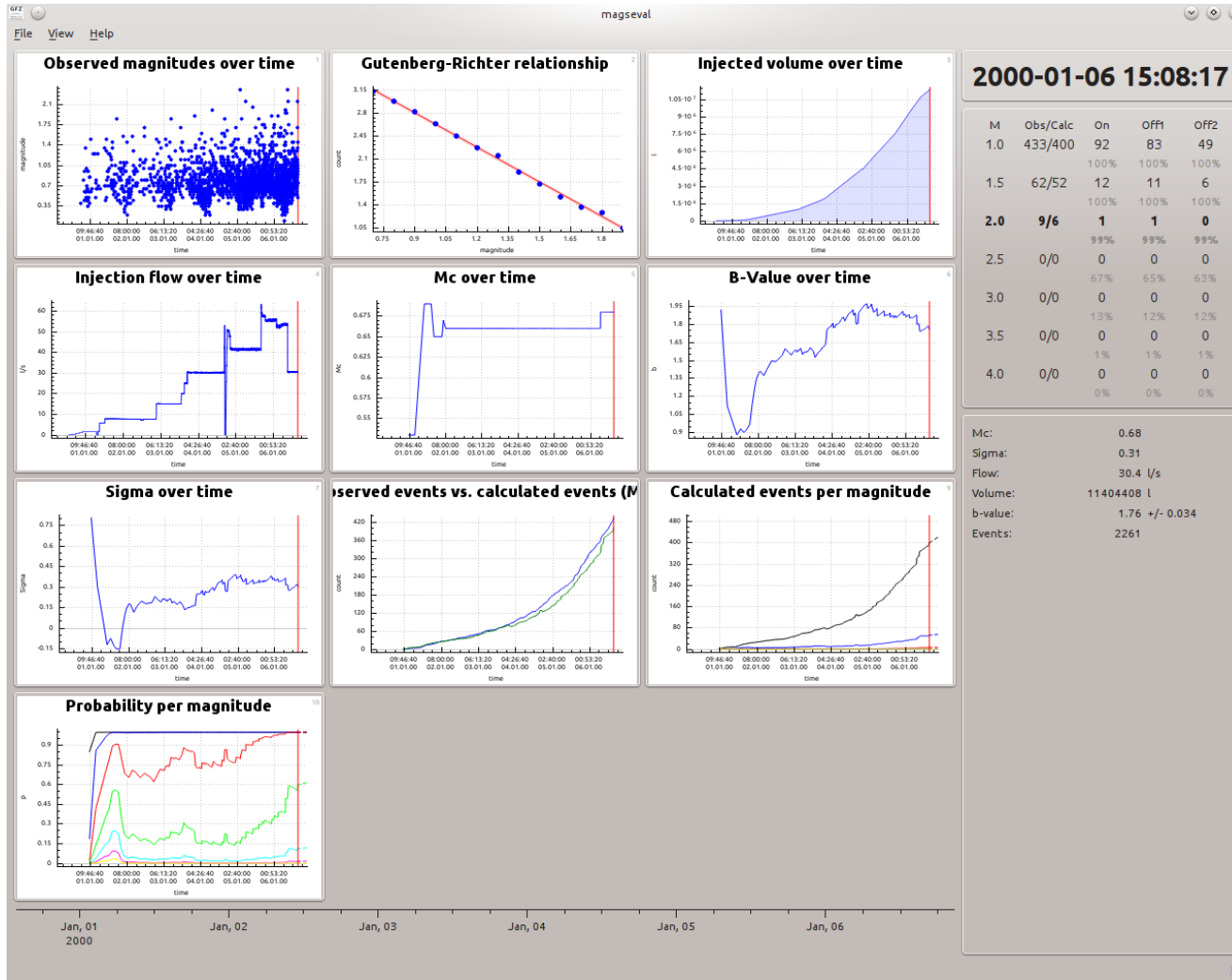
(Quelle: EP5, FU Berlin)

# Integration in SeisComP3

## Modul B: Auftrittswahrscheinlichkeit (EP5)

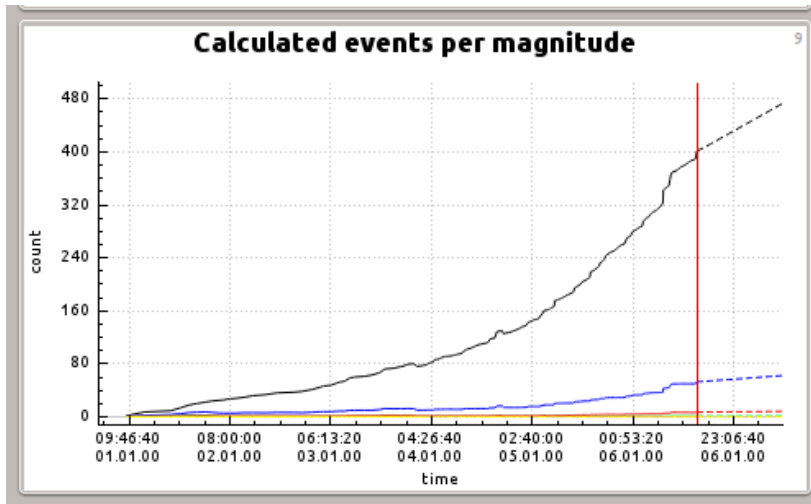


# Echtzeit-Gefährdungsabschätzung in SeisComP3

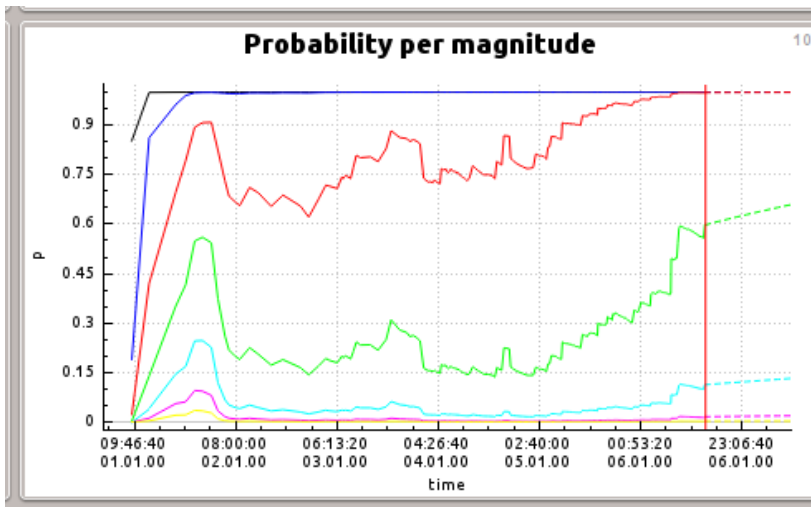




# Anzahl der Ereignisse und Auftrittswahrscheinlichkeit



Berechnung der zu erwartenden Anzahl der Mikroerdbeben bei gleichbleibender Fließrate



Berechnung der entsprechenden Auftrittswahrscheinlichkeit

# Feldexperiment 1: Stimulation GeneSys Hannover

## Echtzeit-Stationen (permanent)

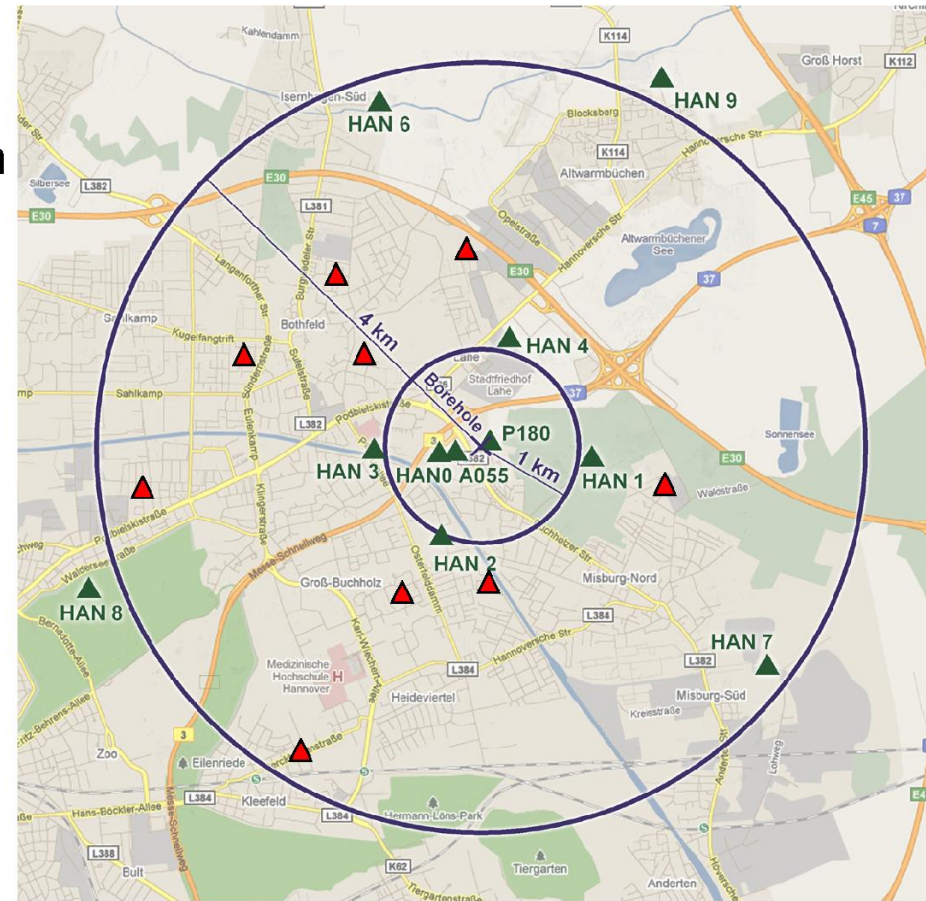
- 4 Bohrlochgeophone, 4.5 Hz, 100 m
- 2 zentrale Bohrlochstationen, 180 & 100 m
- 1 zentrale Breitbandstation, STS-2
- 4 Oberflächenstationen, LE-3Dlite, 1Hz

## Offline-Stationen (temporär)

- 8 LE-3Dlite, 1Hz

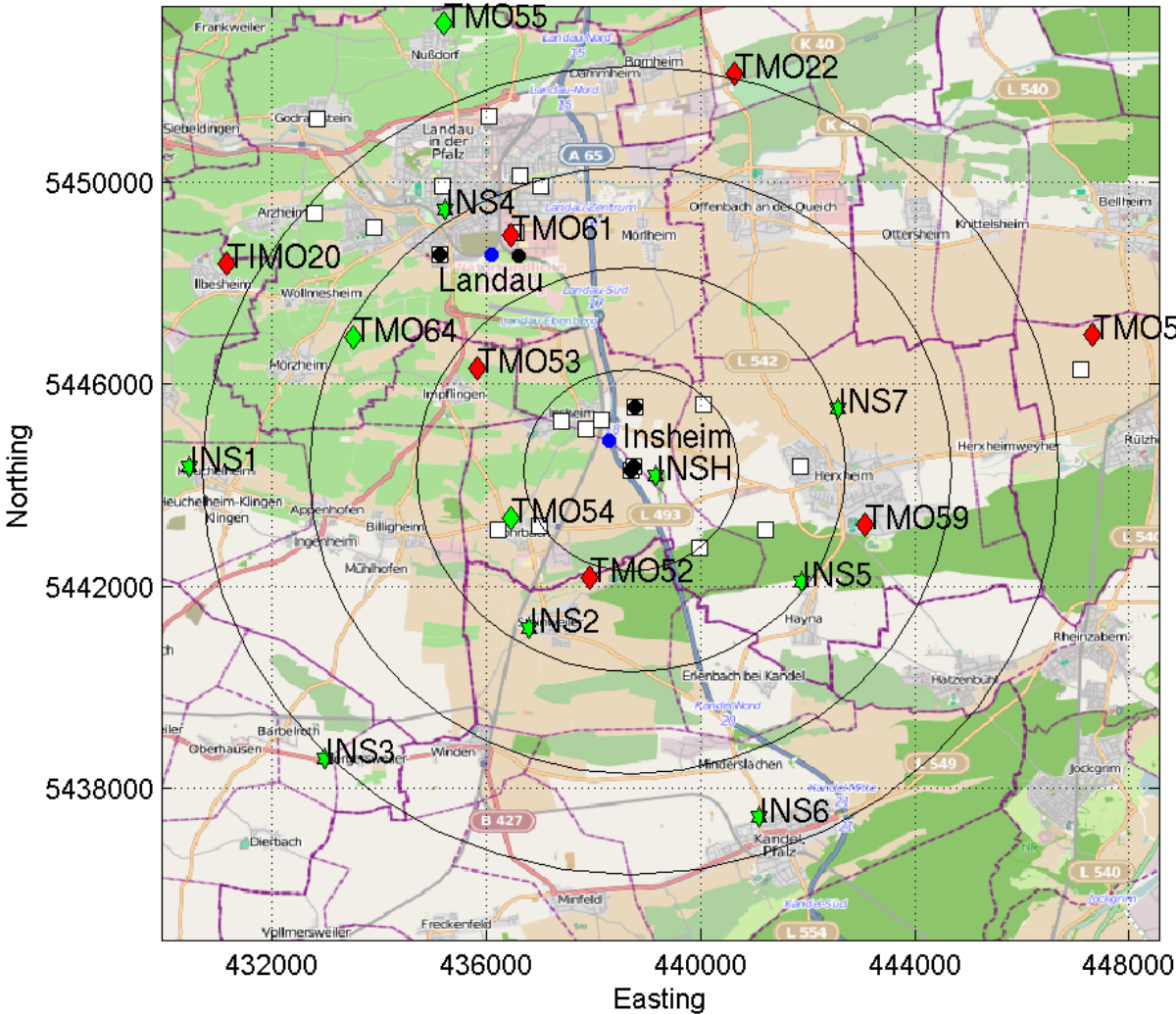
**kontinuierliche Überwachung  
der Seismizität**

**→ keine Seismizität beobachtet**



**▲ Mobilstationen mit lokaler Datenaufzeichnung M<sub>A</sub>GS**

# Feldexperiment 2: Inbetriebnahme Insheim



(Quellen:  
KIT, BESTEC, BGR)

- Industrie
- ◆ KIT online
- ◆ KIT nicht online
- ★ BGR online
- Ansatzpunkte
- Landepunkte

# Zusammenfassung

- Automatischer Detektor, basierend auf Wellenformähnlichkeit implementiert (Matlab)
- Automatische statistische Analyse der Mikroseismizität (Matlab, FU Berlin)
- Integration in SeisComp3 durch Unterauftrag
  - Modul A: Echtzeit-Wellenformdetektor
  - Modul B: Echtzeit-Gefährdungsabschätzung
- Feldexperimente
  - Stimulation GeneSys: keine Seismizität
  - Inbetriebnahme Insheim: Echtzeitmonitoring läuft