

# MAGS2 - EP5: Stand der Arbeit

FU Berlin, FR Geophysik

30. September 2015



# Zielstellung und Schwerpunktthemen

Erarbeitung eines Modellierungsansatzes zur Vorhersage von Magnituden-Auftretenswahrscheinlichkeiten im Produktionsbetrieb

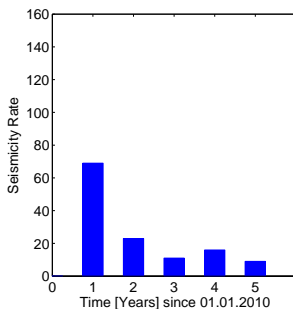
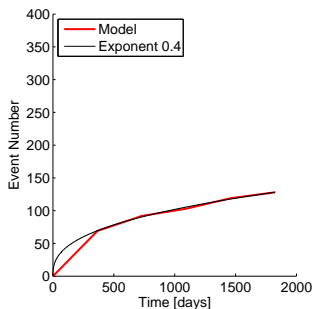
## Schwerpunkt 1

Simulation des Produktionsbetriebs unter Verwendung von analytischen/numerischen Modellierungen zur Berechnung von Spannungsänderungen und synthetisch generierte Ereigniskataloge

## Schwerpunkt 2

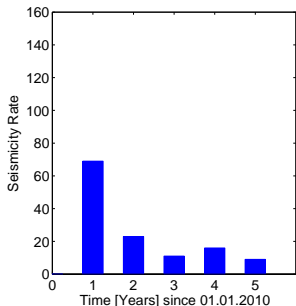
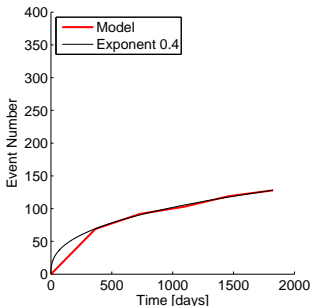
Magnitudenstatistik in finiten seismisch-aktiven Volumen und Seismogenic Index in geothermischen Feldern

# Modellierung von Spannungsänderungen

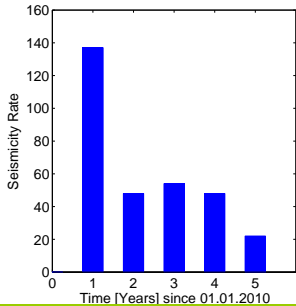
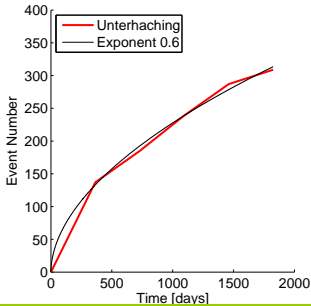


Synthetische Ereignisse durch poroelastische Spannungsänderungen infolge des Produktionsbetriebs

# Modellierung von Spannungsänderungen



Synthetische Ereignisse durch poroelastische Spannungsänderungen infolge des Produktionsbetriebs



Vergleich mit der Seismität im Reservoir Unterhaching

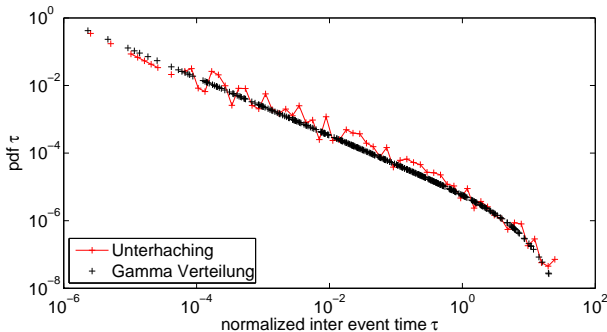


Abweichung zwischen Beobachtung und Simulation

# Modellierung von Spannungsänderungen

Statistische Auswertung der Ereignisse in Unterhaching:

- ▶ inter event Zeiten
- ▶ inter event Fluidvolumen
- ▶ nearest neighbour (Raum-Zeit-Magnitude)



Wahrscheinlichkeitsdichte (pdf) der inter event Zeiten = Gamma-Verteilung

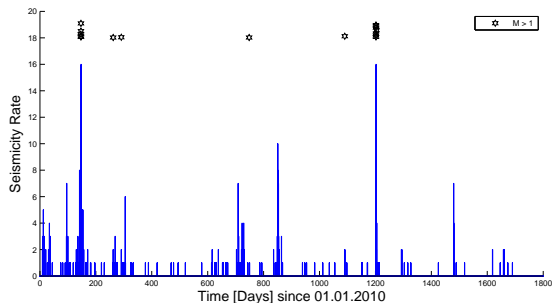


Kombination aus induzierten (main shock) und getriggerten (after shock) Ereignissen



Katalog entklustern

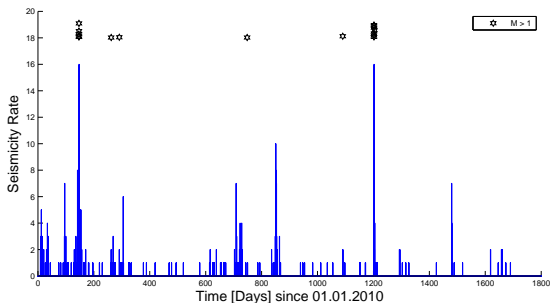
# Modellierung von Spannungsänderungen



Entklustern des Unterhaching Katalogs:

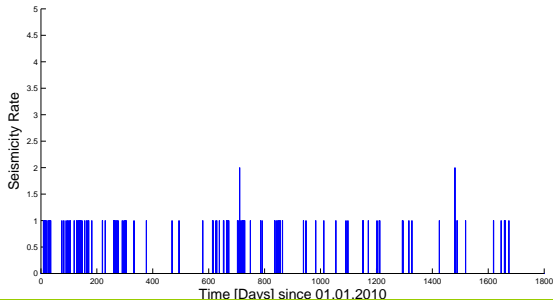
magnitudenabhängige  
Raum-Zeit Fenster  
(Gardener & Knopoff,  
1974)

# Modellierung von Spannungsänderungen



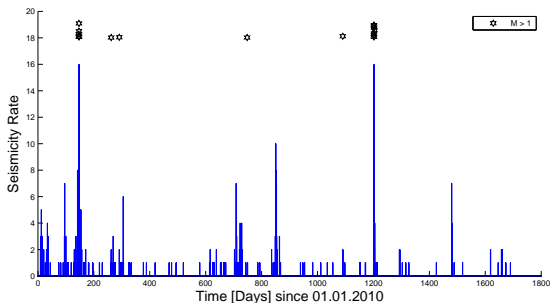
Entklustern des Unterhaching Katalogs:

magnitudenabhängige  
Raum-Zeit Fenster  
(Gardener & Knopoff,  
1974)



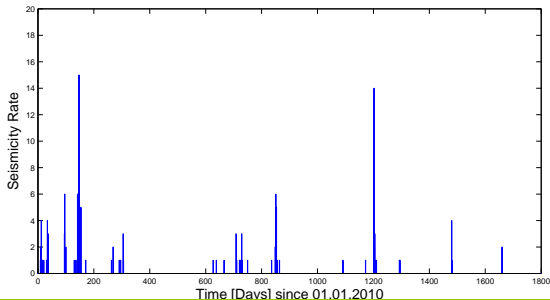
42 Prozent main  
shocks  $\Rightarrow$  induzierte  
Ereignisse

# Modellierung von Spannungsänderungen



Entklustern des Unterhaching Katalogs:

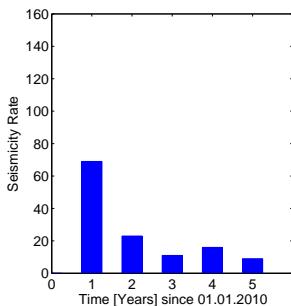
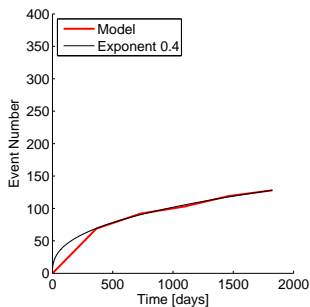
magnitudenabhängige  
Raum-Zeit Fenster  
(Gardener & Knopoff,  
1974)



58 Prozent after  
shocks, 48 Kluster  $\Rightarrow$   
getriggerte Ereignisse

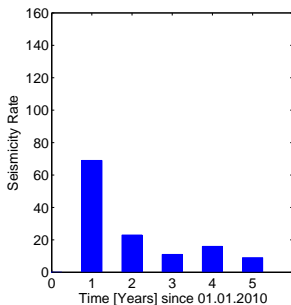
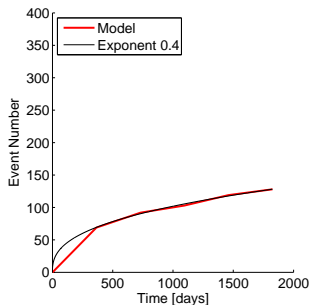


# Modellierung von Spannungsänderungen

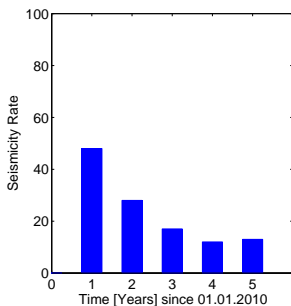
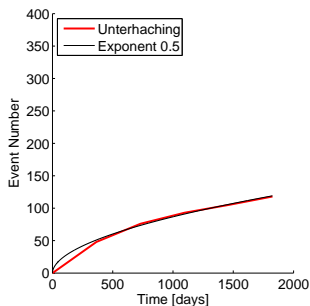


Synthetische Ereignisse durch poroelastische Spannungsänderungen infolge des Produktionsbetriebs

# Modellierung von Spannungsänderungen



Synthetische Ereignisse durch poroelastische Spannungsänderungen infolge des Produktionsbetriebs



Vergleich mit der Seismität im REservoir Unterhaching

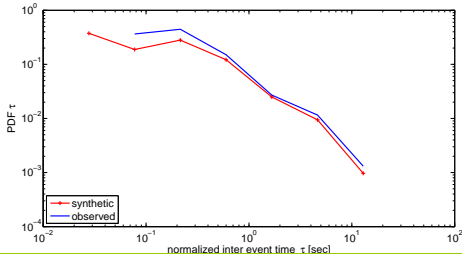
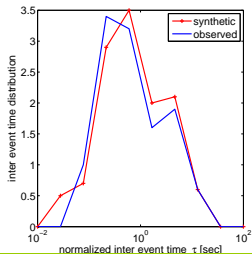
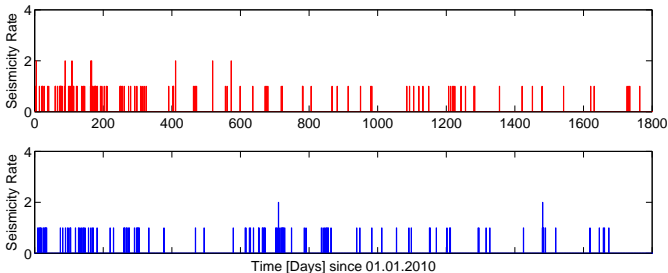


Deutliche Annäherung zwischen Beobachtung und Simulation

# Modellierung von Spannungsänderungen

Vergleich Modell – Beobachtung:

- ▶ Seismizitätsraten und inter event Zeiten



# ETAS Modellierung

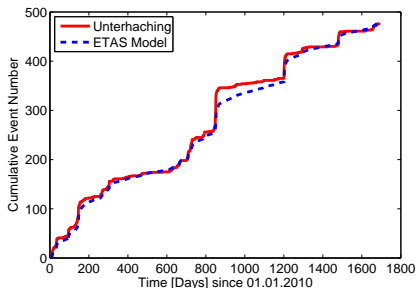
Epidemic Type After Shock Modell eingeführt von Ogata (1985, 1986, 1988)

- ▶ selbsterregendes Punkt Prozess Modell für geklusterte Ereignisse (Hawkes, 1974)
- ▶ definiert in Form einer konditionalen Intensitätsfunktion
- ▶ jedes Erdbeben kann Nachbeben auslösen
- ▶ ETAS Modell beschrieben durch 5 Parameter (main shock Aktivität, Magnitudensensitivität, after shock Abklingcharakteristik)

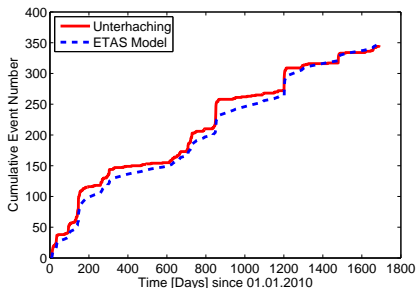
Vorgehensweise:

1. Bestimmung der ETAS Parameter in grober Näherung mit Verwendung des entklusterten Katalogs
2. Inversion des finalen ETAS Modells über Maximum-Likelihood und Akaike Information Criterion (AIC)

# ETAS Modellierung



(gesamter Katalog)



(vollständiger Katalog,  $M \geq M_c$ )

## Output

$$\lambda_0 = 0.0138$$

$$K_0 = 0.1082$$

$$\alpha = 0.5140$$

$$c = 0.0015$$

$$p = 1.0475$$

## Input

$$\lambda_0 = 0.0003$$

$$K_0 = 0.44$$

$$\alpha = 1.0$$

$$c = 0.02$$

$$p = 1.2$$

## Output

$$\lambda_0 = 0.0159$$

$$K_0 = 0.0933$$

$$\alpha = 0.5701$$

$$c = 0.00187$$

$$p = 1.0498$$

# ETAS Modellierung

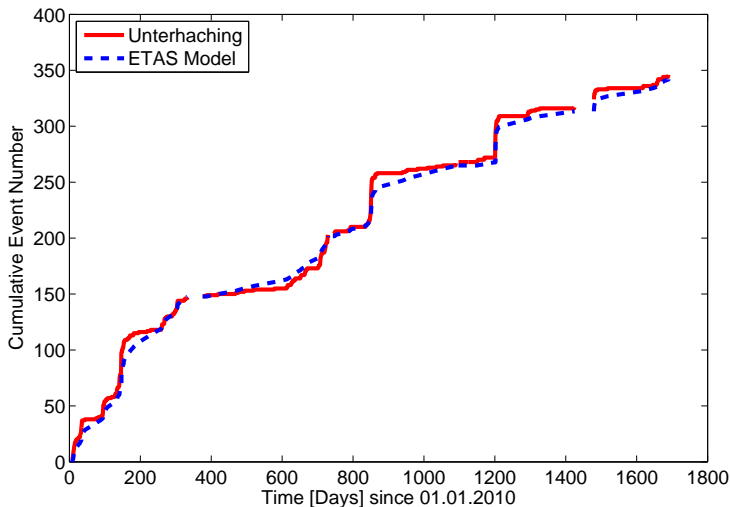
Problem: Aktivität induzierter und getriggelter Ereignisse zeitlich variabel

Jahr	Anzahl	Anzahl $\geq M_c$	induziert	getriggert	getriggert/induziert
2010	161	97	48	49	1.04
2011	80	56	28	28	1.00
2012	119	64	17	47	2.76
2013	70	50	12	38	3.16
2014	48	29	13	16	1.24

⇒ nicht-stationäres ETAS Modell

# ETAS Modellierung

## nicht-stationäres ETAS Modell



(vollständiger Katalog,  $M \geq M_c$ )

# Magnitudenstatistik in finiten aktiven Volumen

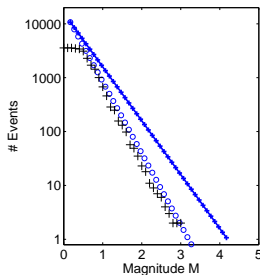
## Magnituden-Vorhersage - Basel Szenario

- ▶ großes Injektionsvolumen
- ▶ großes perturbiertes Gesteinsvolumen

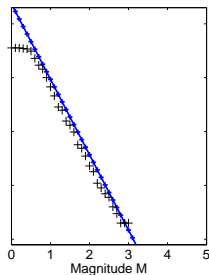
▶ Parameter:

$$V_I, M_\Sigma, b_{LB}, b_{MLE}, \Sigma_{MLE}, b_{GR}, \Sigma_{GR}$$

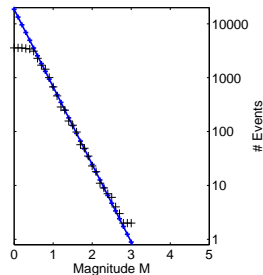
theoretische und beobachtete Magnitudenhäufigkeiten



$$M_\Sigma = 0.22$$
$$b = 1.0 \text{ und } b_{LB} = 1.33$$



$$\Sigma_{MLE} = 0.34$$
$$b_{MLE} = 1.4$$



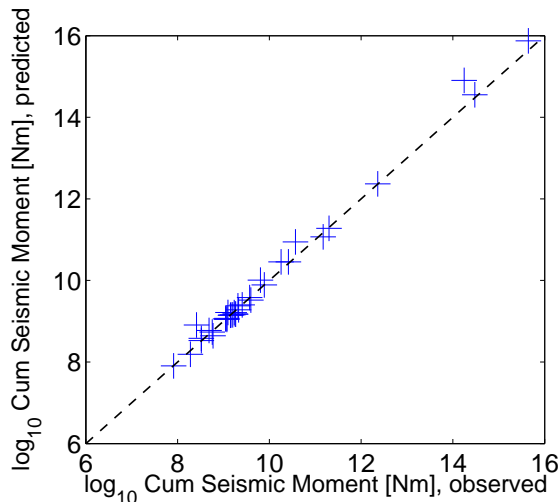
$$\Sigma_{GR} = 0.4$$
$$b_{GR} = 1.65$$



# Magnitudenstatistik in finiten aktiven Volumen

Vorhersage kumuliertes seismisches Moment:

Berechnung mit Seismogenic Index Modell für 34 Fluidinjektionen  
und Vergleich mit tatsächlich freigesetztem Moment



# Zusammenfassung EP5

- ▶ **Analyse Seismizität Unterhaching:**  
Auftreten von induzierten (main shock) und getriggerten (after shock) Ereignissen  
→ Katalog entklustert
- ▶ **Simulation des Produktionsbetriebs:**  
synthetischer Ereigniskatalog zeigt gute Übereinstimmung mit entklustertem Unterhaching Katalog
- ▶ **nicht-stationäres ETAS Modell zur Beschreibung der main shock - after shock Aktivität in Unterhaching**
- ▶ **Magnitudenstatistik in finiten aktiven Volumen:**  
Beeinflussung der Magnitudenhäufigkeitsverteilung, b-Wert und Seismogenic Index
- ▶ **geometrie-beeinflusster b-Wert und Seimogenic Index geeignet zur Vorhersage von Magnitudenhäufigkeiten und des insgesamt freigesetzten seismischen Moments**

# Aktuelles und Ausblick

## ▶ Modellierungen:

- ▶ Modellierung (Porenfluiddruck und poroelastische Kopplung) für Molasse/München (insgesamt 11 Injektions- und Förderpunkte) läuft momentan für 3 Reservoirs (6 Punkte)
- ▶ Fortführung ETAS Modellierungen Unterhaching und Erweiterung auf Südpfalz

## ▶ Magnitudenstatistik:

- ▶ Parametrisierung Seismogenic Index, Einbeziehung des Griffith Energy Equilibrium Criterion
- ▶ Beziehung zwischen Injektionsvolumen und maximalem seismischen Moment (McGarr) ergibt sich aus unserem Modell

# Danksagung

The joint project **MAGS2** – Microseismic Activity of Geothermal Systems – **From single reservoirs to geothermal fields** is funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy and supervised by the Project Management Jülich.

**FKZ:** 0325662A-G



Wir danken auch allen Daten-Bereitstellern.