

MAGS2 - EP5: Stand der Arbeit

FU Berlin, FR Geophysik

15. Oktober 2014



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

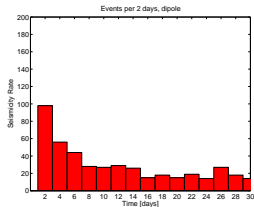
Schwerpunkt 2

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

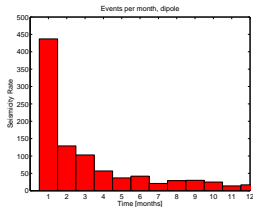
Rückblick: Modellierung Reservoir im Produktionsbetrieb

Seismizitätsrate:

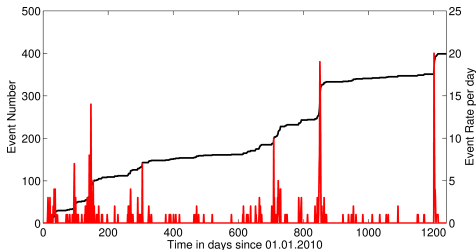
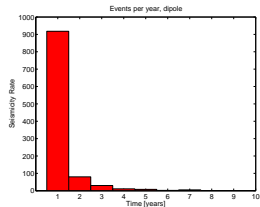
Monat 1



Jahr 1



Jahr 1-10



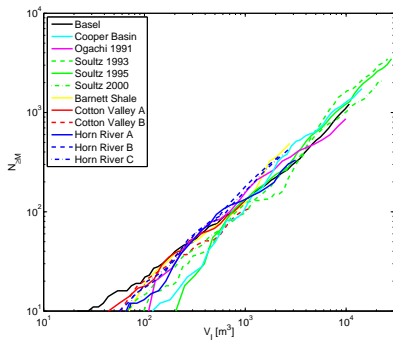
Unterhaching (Katalog EP2):

- Seismische Aktivität als Folge von
- ? Änderungen in Fließraten
 - ? Pumpenstillstand
 - ? Änderungen in Fluidtemperatur

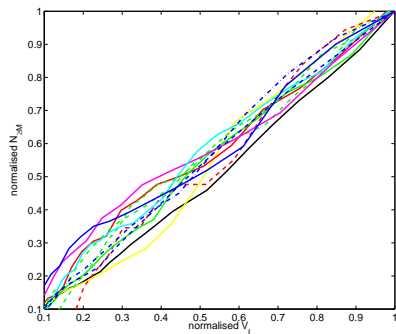
Analyse Seismizität Landau und Unterhaching

(1) Proportionalität Ereigniszahl - (Re)Injektionsvolumen

- ▶ Stimulationen
- ▶ Fracking



(absolut)

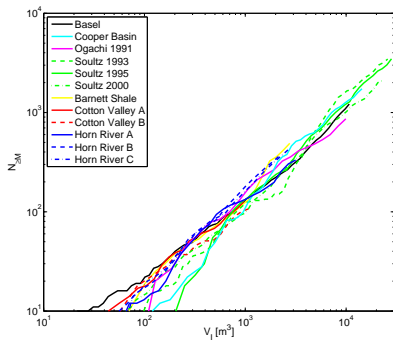


(normalisiert)

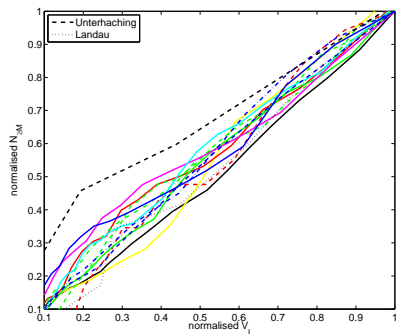
Analyse Seismizität Landau und Unterhaching

(1) Proportionalität Ereigniszahl - (Re)Injektionsvolumen

- ▶ Stimulationen
- ▶ Fracking
- ▶ Produktion



(absolut)

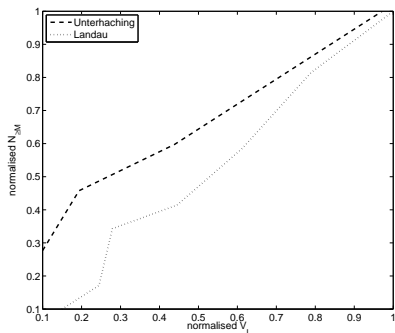


(normalisiert)

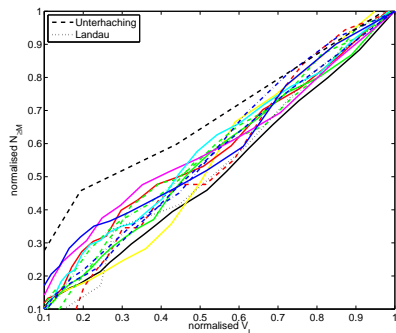
Analyse Seismizität Landau und Unterhaching

(1) Proportionalität Ereigniszahl - (Re)Injektionsvolumen

- ▶ Stimulationen
- ▶ Fracking
- ▶ Produktion



(normalisiert)

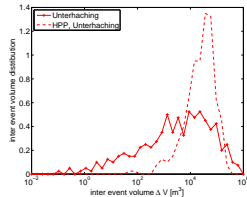
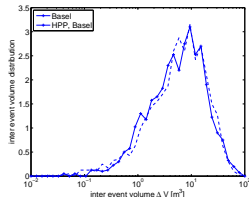
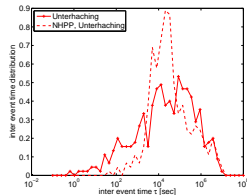
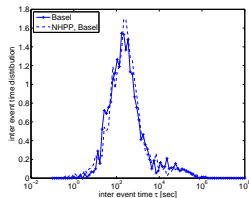


(normalisiert)

Analyse Seismizität Landau und Unterhaching

(2) Statistik des zeitlichen Auftretens

- ▶ inter-event Zeiten und inter-event Fluidvolumen



Basel: 2099 Ereignisse oberhalb M_c 12/2006 - 6/2007, davon 1374 Ereignisse während der Injektion

⇒ Poisson Prozess

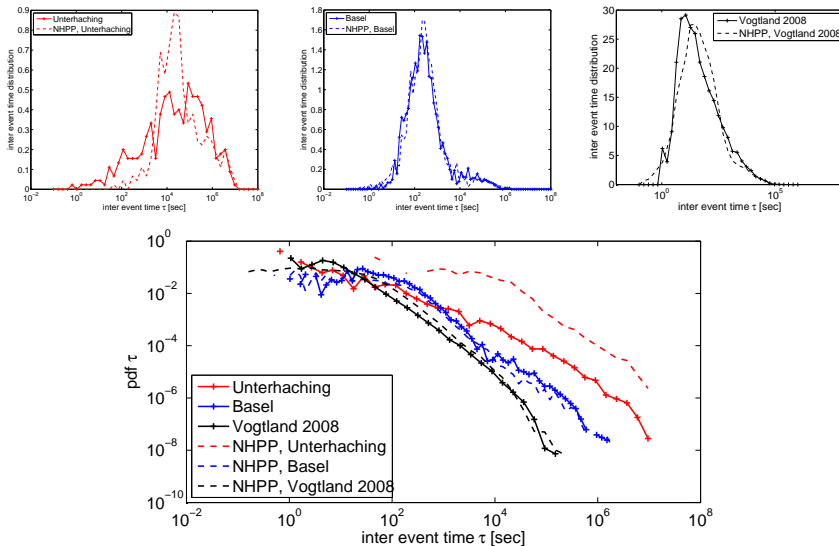
Unterhaching: 349 Ereignisse oberhalb M_c 1/2010 - 4/2013, davon 303 Ereignisse bis Dezember 2012

⇒ Kein Poisson Prozess

Analyse Seismizität Landau und Unterhaching

(2) Statistik des zeitlichen Auftretens

- Vergleich der PDF der inter-event Zeiten in Unterhaching - Basel - Vogtland



Analyse Seismizität Landau und Unterhaching

(3) Die nächsten Schritte:

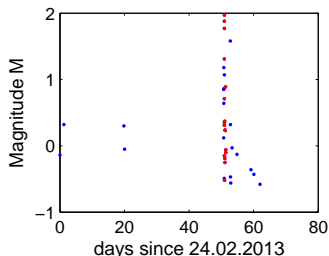
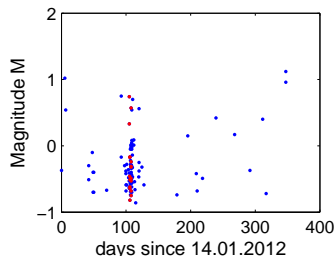
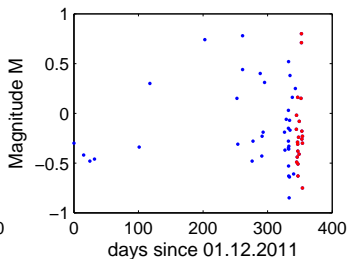
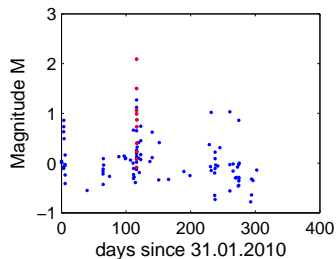
- ▶ rate-and-state Modellierung
(Dieterich, 1994)
- ▶ ETAS Modellierung
(nicht-stationär: Kumazawa und Ogata, 2013)

Identifikation von getriggerten Ereignissen (Aftershock-Sequenzen)

Analyse Seismizität Landau und Unterhaching

(4) Identifikation von getriggerten Ereignissen (Aftershock-Sequenzen)

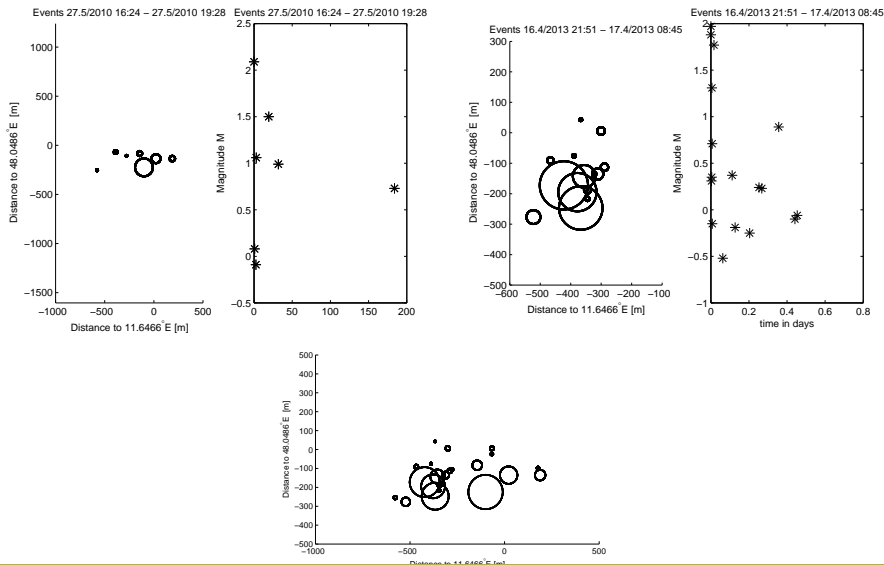
A: Unterhaching



Analyse Seismizität Landau und Unterhaching

(4) Identifikation von getriggerten Ereignissen (Aftershock-Sequenzen)

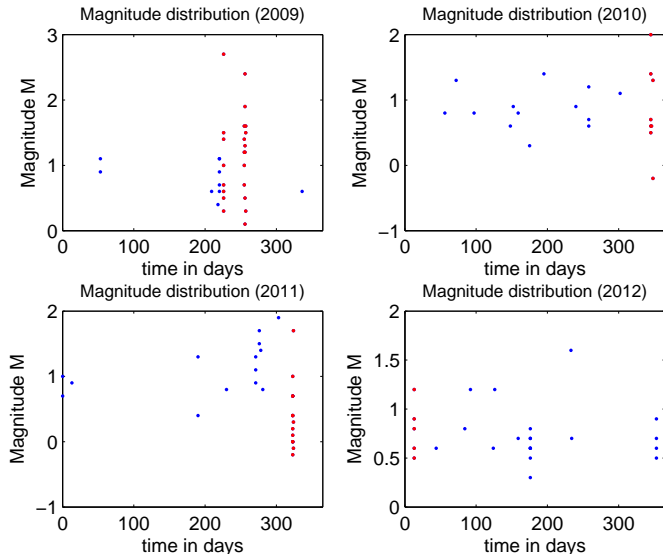
A: Unterhaching



Analyse Seismizität Landau und Unterhaching

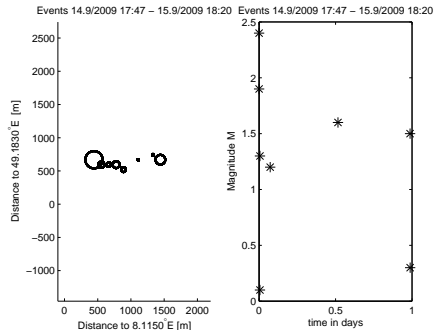
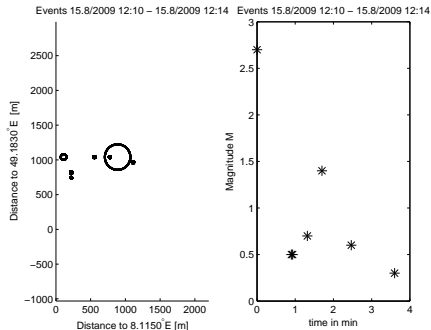
(4) Identifikation von getriggerten Ereignissen (Aftershock-Sequenzen)

B: Landau



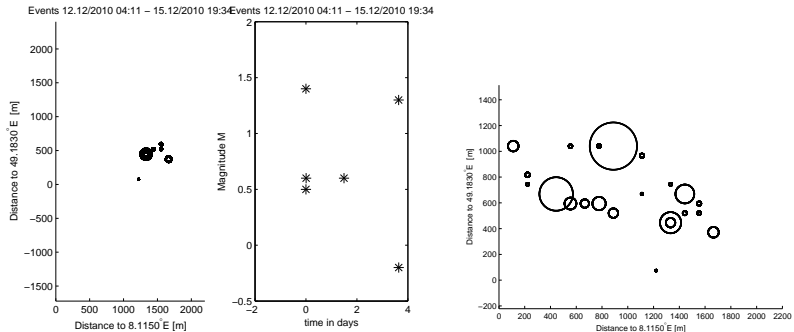
Analyse Seismizität Landau und Unterhaching

(4) Identifikation von getriggerten Ereignissen (Aftershock-Sequenzen) B: Landau



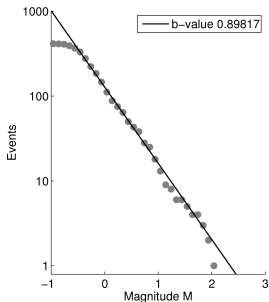
Analyse Seismizität Landau und Unterhaching

(4) Identifikation von getriggerten Ereignissen (Aftershock-Sequenzen) B: Landau

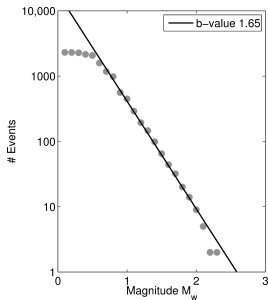


FMD in finiten seismisch-aktiven (perturbierten) Volumen

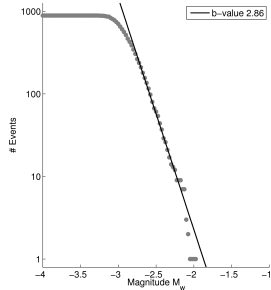
b -Wert und Σ in Finiten Perturbierten Volumen



Unterhaching
Geothermie-Produktion:
1200 Tage Injektion



Basel EGS
Stimulation:
6 Tage Injektion



Barnett Shale
Hydro-Fracking:
6 Stunden Injektion

b -Wert und Σ in Finiten Perturbierten Volumen

Beeinflussung der Magnitudenstatistik durch die Größe des perturbierten Gesteinsvolumens:

⇒ Beeinflussung Abschätzung b -Wert

- ▶ scheinbarer b -Wert
- ▶ zeitabhängiger b -Wert

→ Wie wirkt sich das auf die Abschätzung des Seismogenic Index aus?

→ Ist der Seismogenic Index ein spezifischer Parameter für eine Reservoir-Lokation?

→ Was ist der Einfluss auf die Anwendbarkeit des Seismogenic Index Modells zur Vorhersage der Magnitudenstatistik?

b -Wert und Σ in Finiten Perturbierten Volumen

Methoden I, II, III - Gutenberg-Richter:

- Bestimmung von b -Wert mittels linearem Fit in $\log_{10}N - M$ Domän (I, II) und mittels Maximum Likelihood Methoden (III) [Aki, 1965, Utsu, 1966]
- Berechnung Seismogenic Index über $\Sigma = \log_{10}N_{\geq M} - \log_{10}V_I + bM$

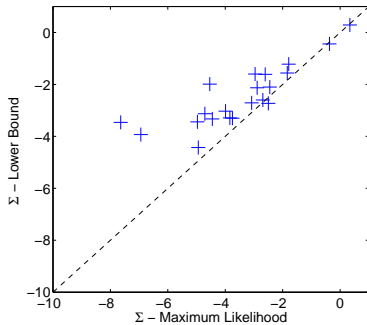
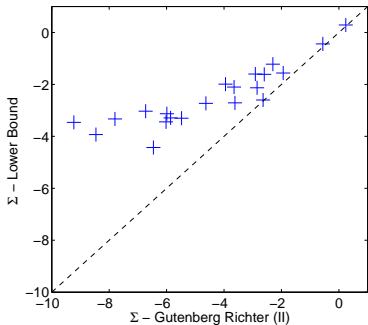
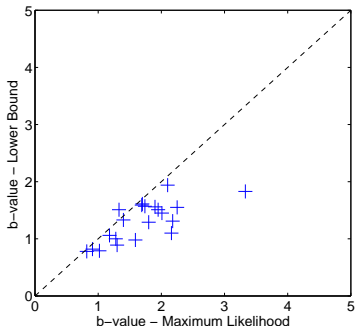
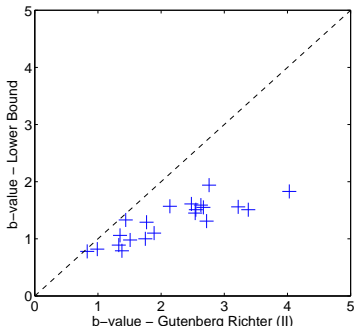


Vergleich von b - Wert and Σ



Methode IV - Lower Bound:

- Bestimmung b -Wert mittels lower bound probability Fit
- Berechnung Seismogenic Index über $\Sigma = a - \log_{10}V_I$

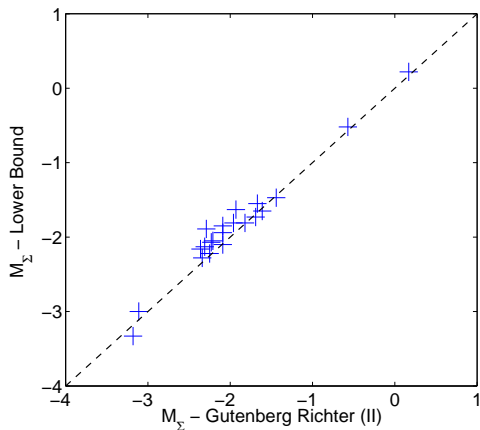


Schlussfolgerungen aus dem Vergleich

- ▶ systematische Abweichungen im b -Wert und Seismogenic Index
- ▶ Abweichungen sind größer für kleine perturbierte Gesteinsvolumen
- ▶ FMD am stärksten beeinflusst bei geringen injizierten Fluidvolumen und /oder kurzen Injektionszeiten
- ▶ b -Wert und Seismogenic Index zeitabhängige Parameter

Skalierung mittels Specific Magnitude M_{Σ}

$$M_{\Sigma} = \frac{\Sigma}{b} \rightarrow \log_{10} N_{\geq M} = \log_{10} V_I + \Sigma - bM \Rightarrow N_{\geq M_{\Sigma}} = V_I \cdot 1/m^3$$



\Rightarrow standort-spezifischer seismotektonischer Parameter,
unbeeinflusst durch Größe und Geometrie des perturbierten Gesteinsvolumen

Magnituden-Vorhersage - 2 Szenarien

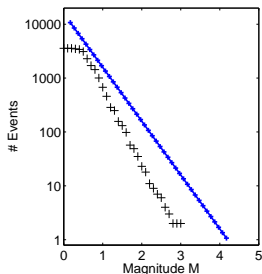
Szenario 1:

- ▶ großes Injektionsvolumen
- ▶ großes perturbiertes Gesteinsvolumen

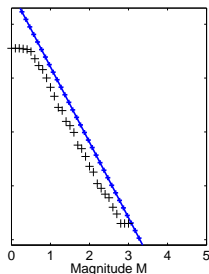
▶ z.B. Basel Stimulation:

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

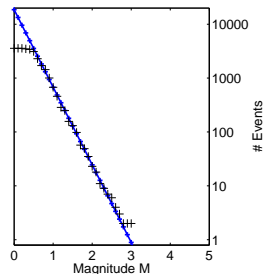
theoretische und beobachtete FMD



$$M_\Sigma = 0.2$$
$$b = 1.0$$



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



$$\Sigma_{GR} = 0.24$$
$$b_{GR} = 1.5$$

Magnituden-Vorhersage - 2 Szenarien

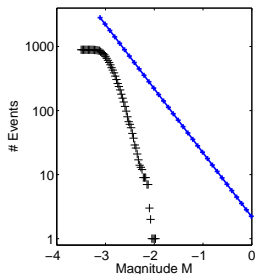
Szenario 2:

- ▶ geringes Injektionsvolumen
- ▶ kleines perturbiertes Gesteinsvolumen

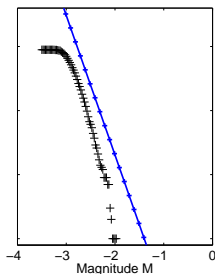
- ▶ z.B. Barnett Shale Fracking:

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

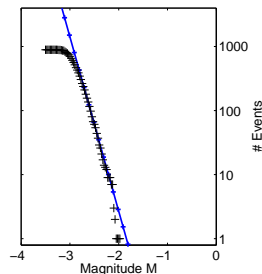
theoretische und beobachtete FMD



$$M_\Sigma = -3.1$$
$$b = 1.0$$



$$\Sigma_{MLE} = -6.9$$
$$b_{MLE} = 2.2$$



$$\Sigma_{GR} = -8.5$$
$$b_{GR} = 2.7$$

Zusammenfassung EP5

- ▶ **Analyse Seismizität Landau und Unterhaching:
Indikatoren für Auftreten von induzierten und getriggerten Ereignissen**
- ▶ **Magnitudenstatistik in finiten Volumen:
Beeinflussung von FMD, b-Wert und Seismogenic Index**
- ▶ **geometrie-beeinflusster b-Wert und Seimogenic Index geeignet zur
FMD Vorhersage in Echt-Zeit-Überwachng,
Specific Magnitude als asymptotische obere Grenze der FMD
Wahrscheinlichkeit**

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



Project Management for



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

Wir danken auch allen Daten-Bereitstellern.