



Forecasting seismicity on local and regional scales

**J. Woessner, S. Wiemer
M. C. Gerstenberger
M. Werner**

**ETH Zurich, Swiss Seismological Service
GNS Science
UCLA**

**5th International Workshop on Statistical Seismology:
Physical and Stochastic Modelling of Earthquake Occurrence and Forecasting**



Outline

1. Seismic eARly Warning For EuRope (SAFER): Local scale **time-dependent** seismic hazard and earthquake forecasting
2. A **comparative retrospective** forecast test for the Landers 1992 earthquake
3. Short Term Earthquake Probabilities: **STEP in Europe** - Examples from Switzerland and Turkey



SAFER-Objectives

1. Improve understanding of spatial and temporal evolution of **clustered seismicity** (SAFER, NERIES)
2. **Improve links** to underlying physics of earthquakes (SAFER, NERIES)
3. Develop testable **forecast** models (NERIES, CSEP)
4. **Validate** forecast models using **community accepted testing procedures** (CSEP)



Project: Target scale

Local scale

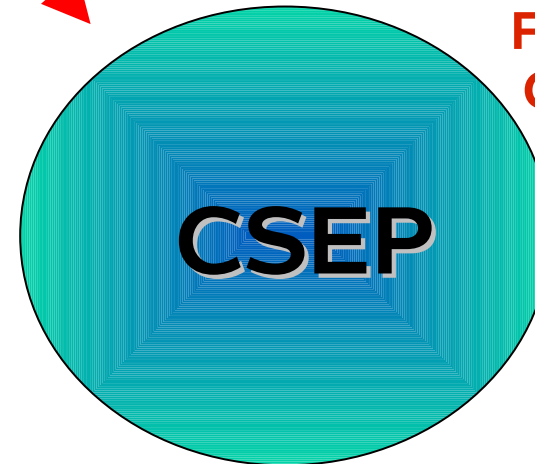


Time-dependent hazard for e.g. aftershock sequences, swarms

Regional scale

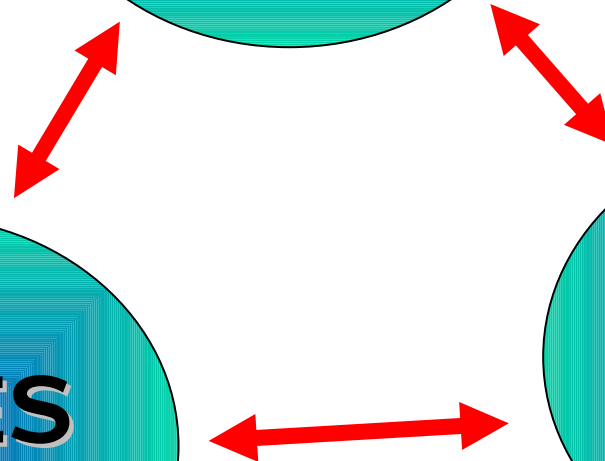


From Local to Global scales



Time-dependent hazard on nationwide / European scale

Earthquake predictability





The Landers Retro-Test

- **Methodological** developments in a region of
 - high seismicity
 - high data quality and various available earthquake catalogs
 - main shock with multiple slip distribution solutions
 - additional data: GPS, INSAR, fault model
- Comparative **forecast tests** on local scale and short periods
- Development of an suitable **testing strategy** combining different model elements



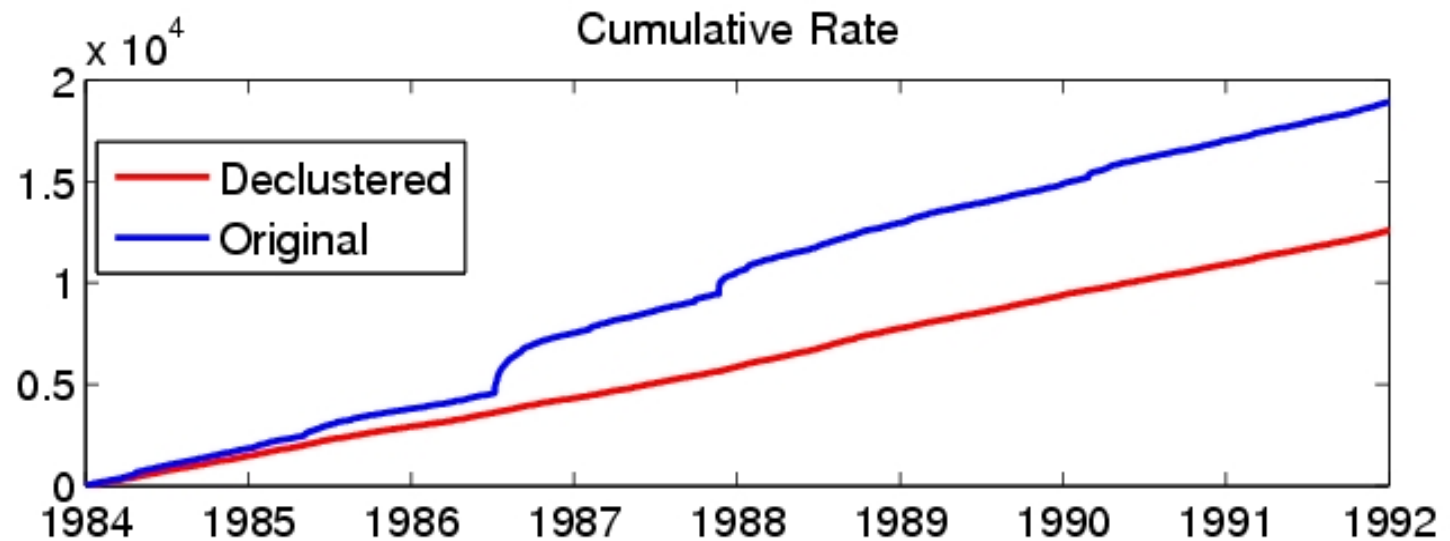
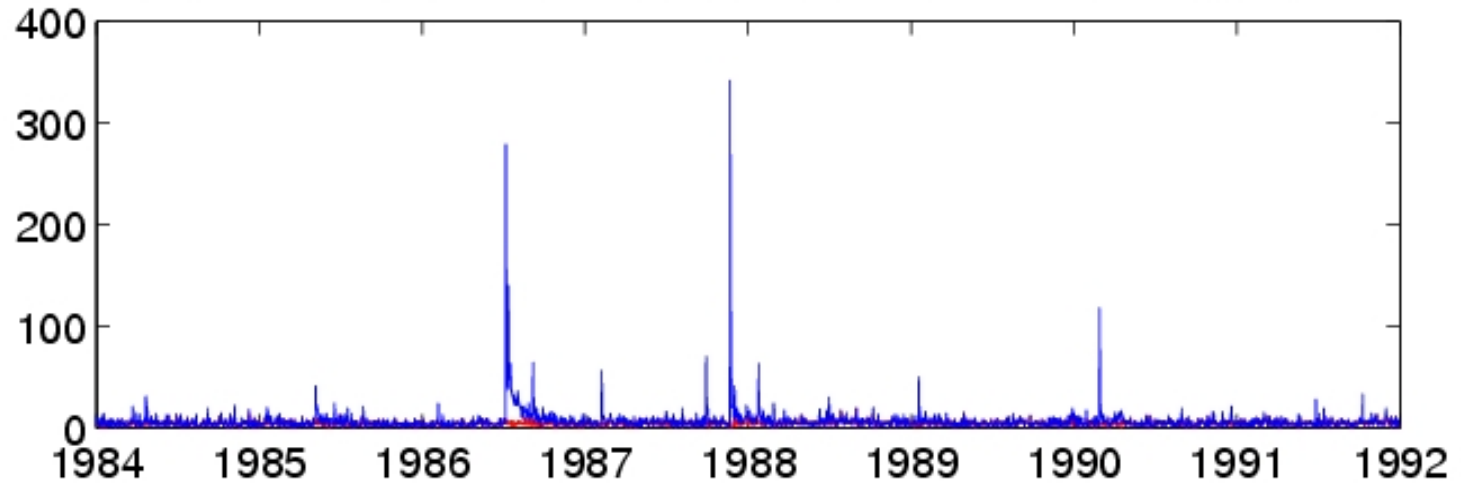
The Landers Retro-Test

- Forecast region: -117.5W/33.25N - -115.5W /35.5N
- Data selection region: -119W/32.5N - -115.5W /36.5N
- Grid: $0.05^\circ \times 0.05^\circ$
- Relocated Hauksson catalog (1984-2001)
- Background model: Declustered catalog 1984-1991 using modified Reasenberg declustering code (see Helmstetter, 2007)
- Forecasts: 24h forecasts, starting 28.06.1992 for 90 days, $4 \leq M \leq 8$



Background model

Daily Rate >M2 for Hauksson Relocated Catalog and Declustered Catalog

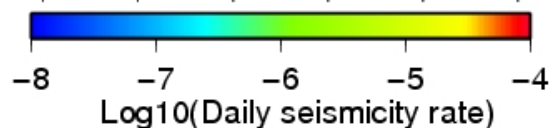
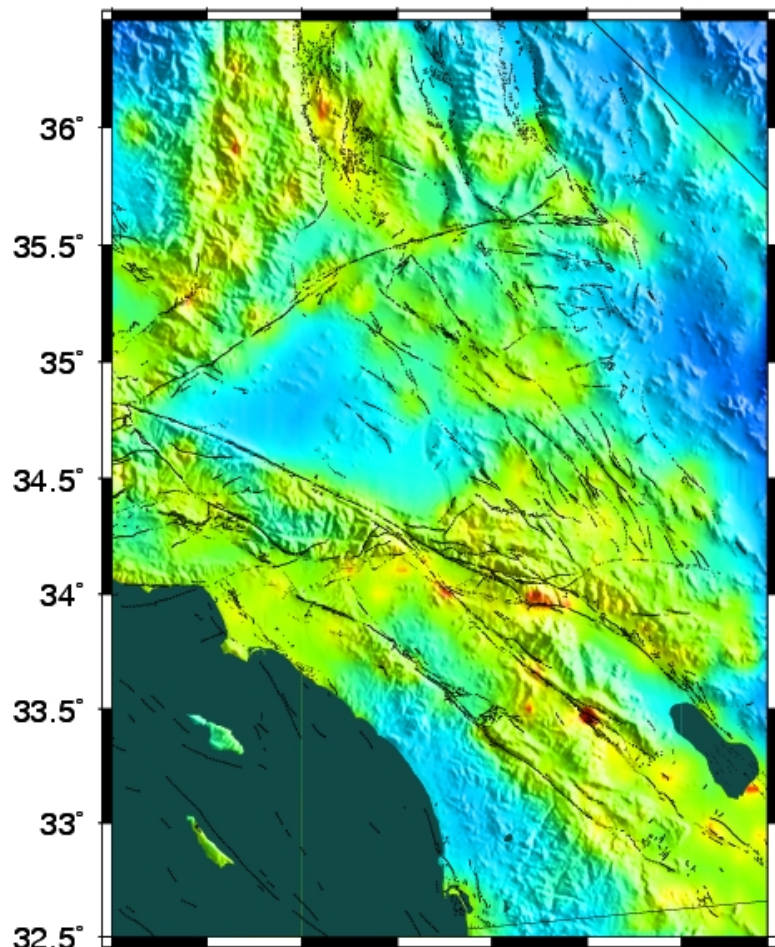




Background model

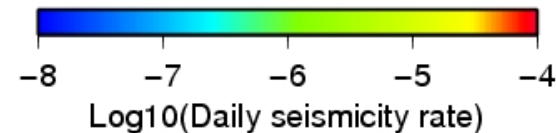
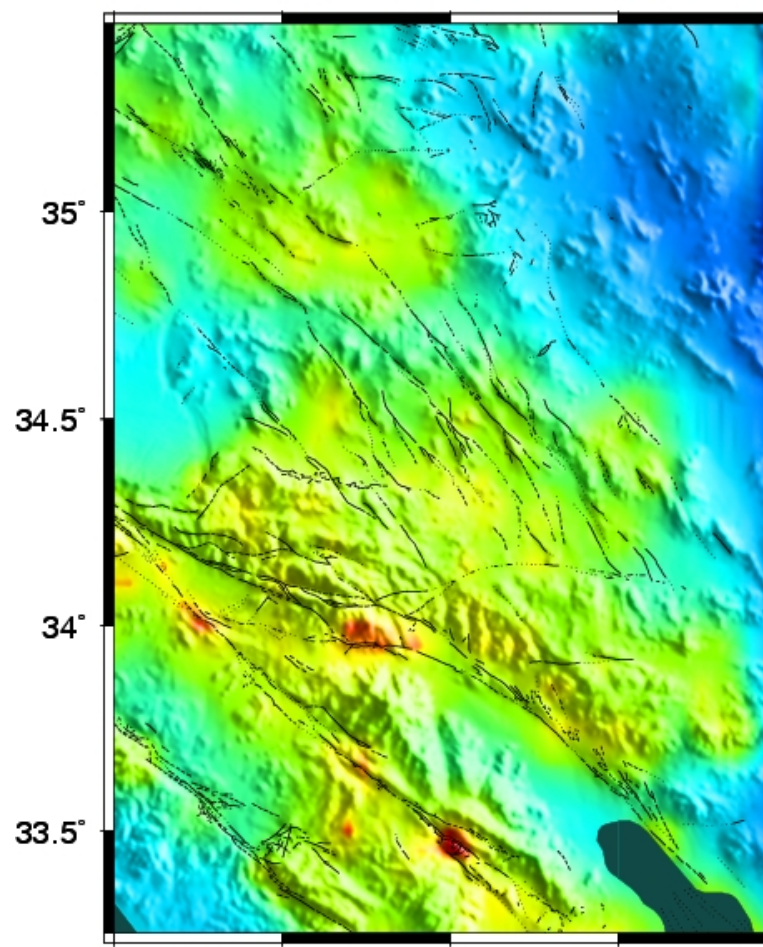
Southern California

-119° -118.5° -118° -117.5° -117° -116.5° -116°



Forecast box

-117.5° -117° -116.5° -116°

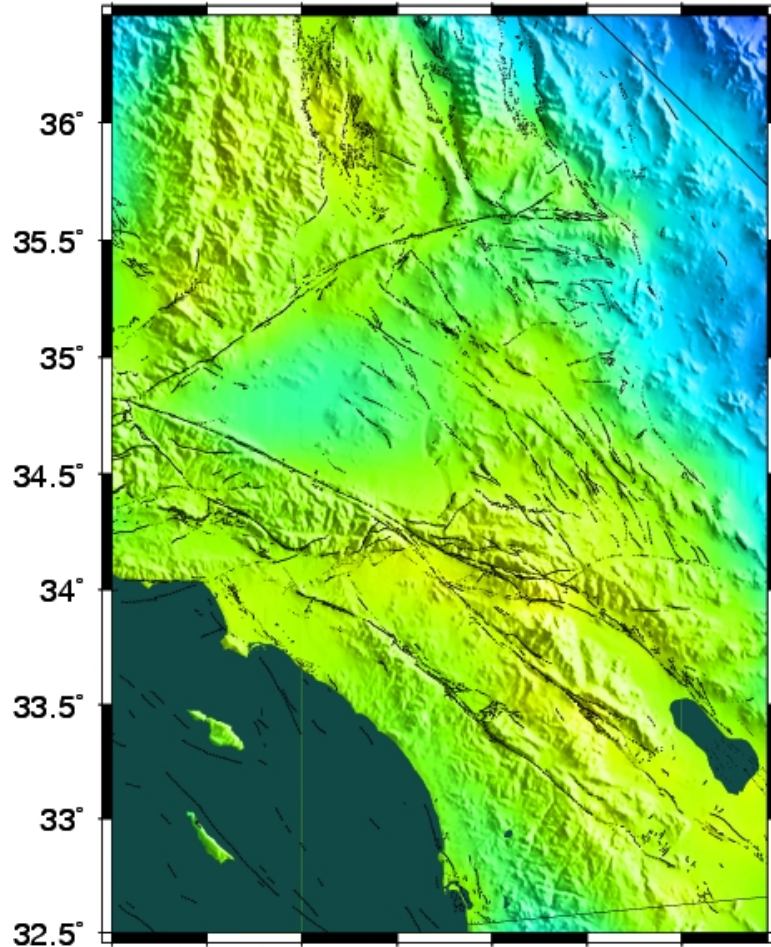




Background Hazard

Southern California

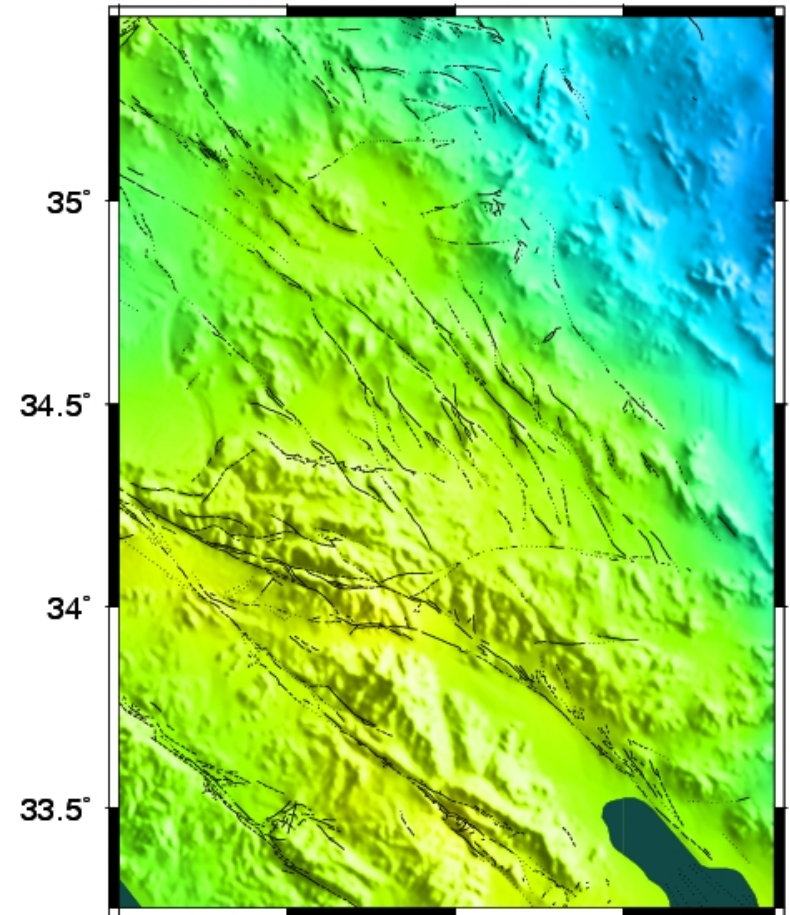
-119° -118.5° -118° -117.5° -117° -116.5° -116°



-7 -6 -5 -4
Log₁₀(Prob. of exceeding MMI VI)

Forecast box

-117.5° -117° -116.5° -116°



-7 -6 -5 -4
Log₁₀(Prob. of exceeding MMI VI)



Forecast Models

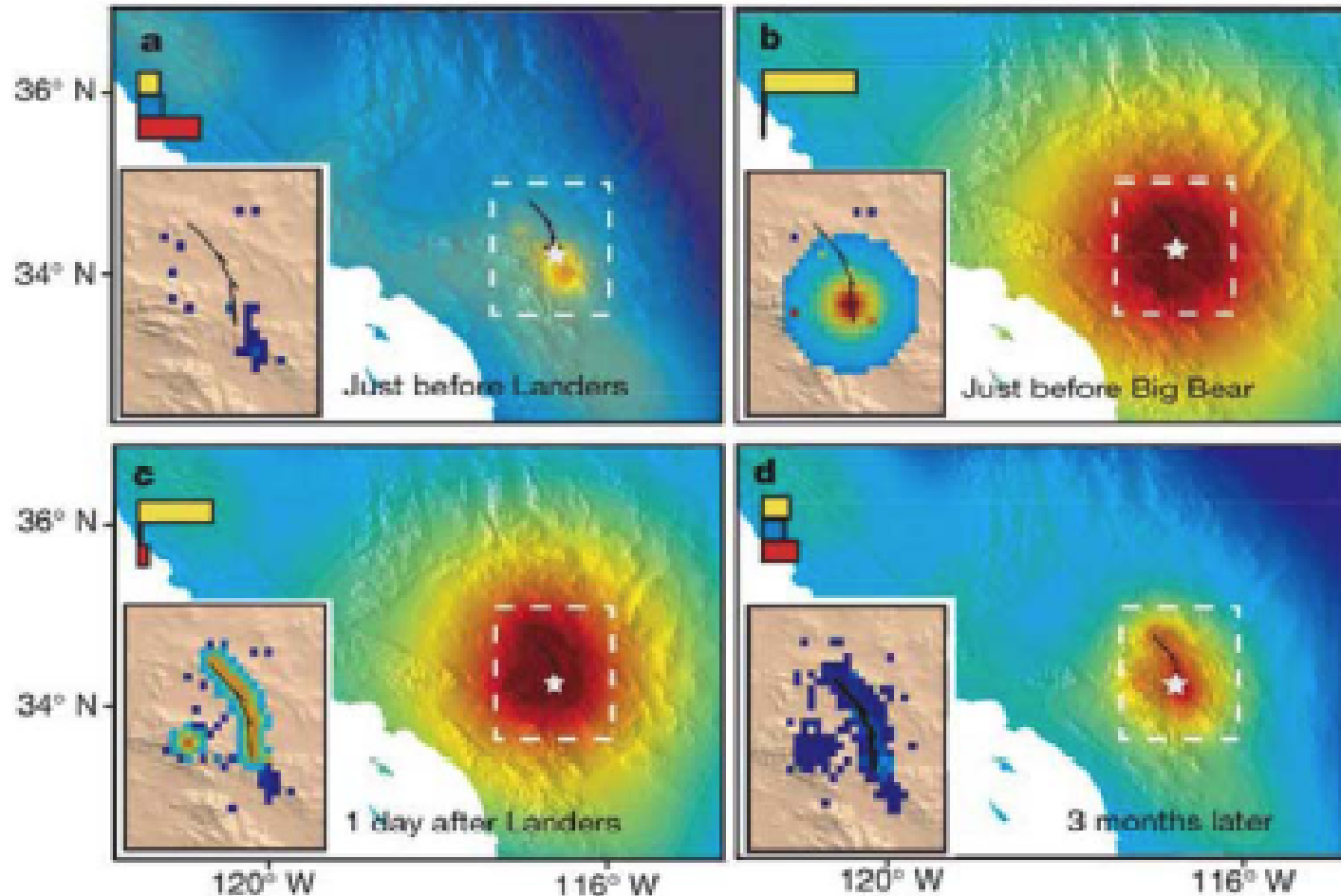
- Short Term Earthquake Probabilities (**STEP**, Gerstenberger et al., 2005)
- STEP generic element with **Coulomb weighting**
- Epidemic Type Aftershock Sequence (**ETAS**) model (Helmstetter et al., 2007)



Focus: Comparative Test



STEP: Model elements



Model elements:

Generic

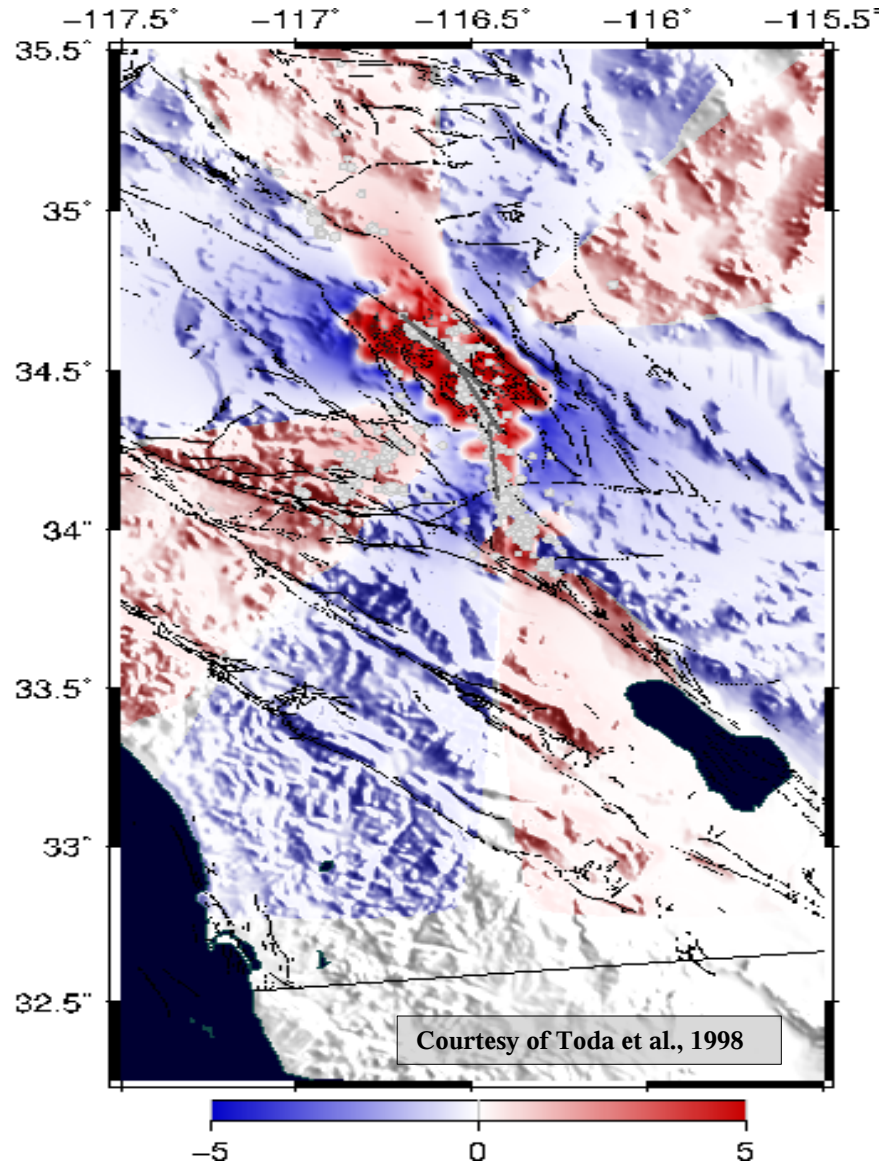
Sequence specific

Spatially heterogeneous

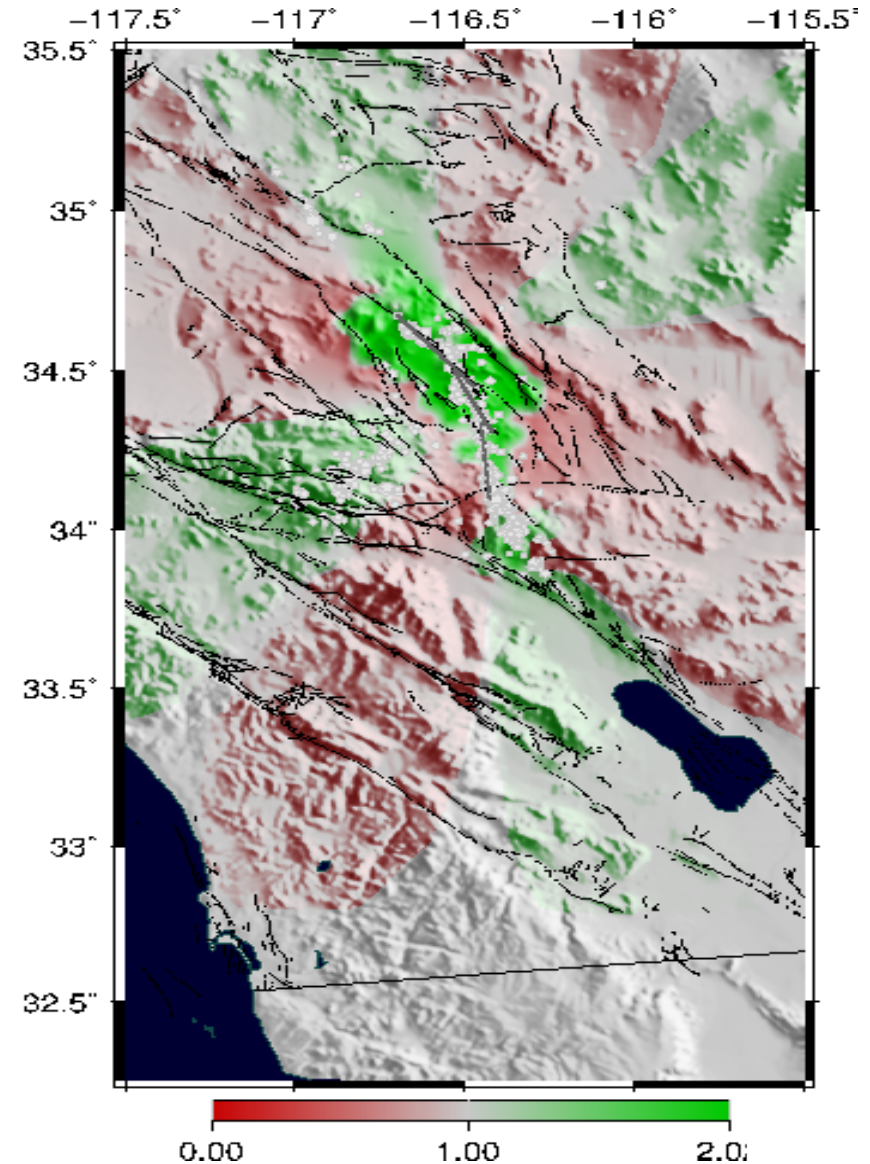


Coulomb: Model and Scalar

Coulomb stress changes



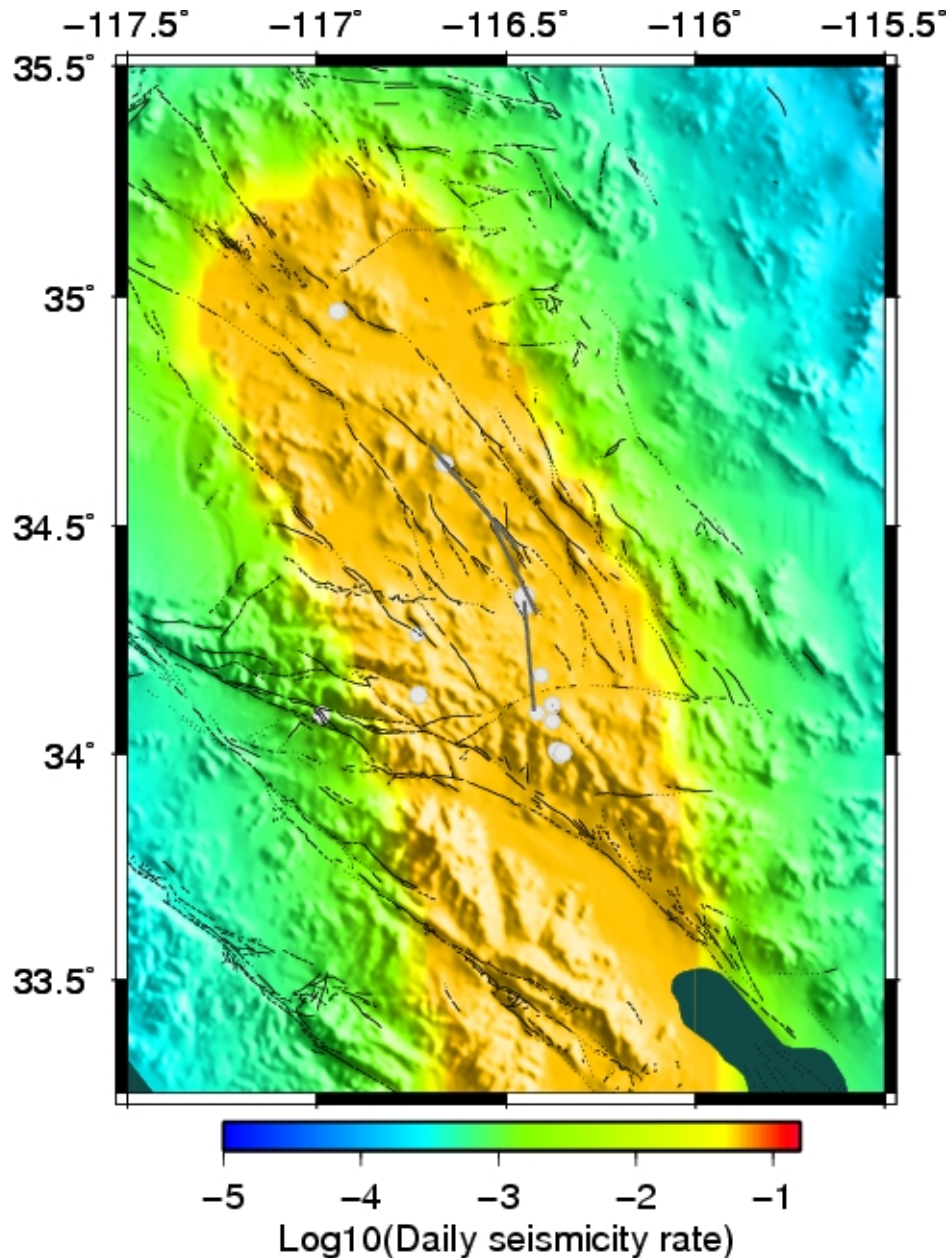
Converted scalar



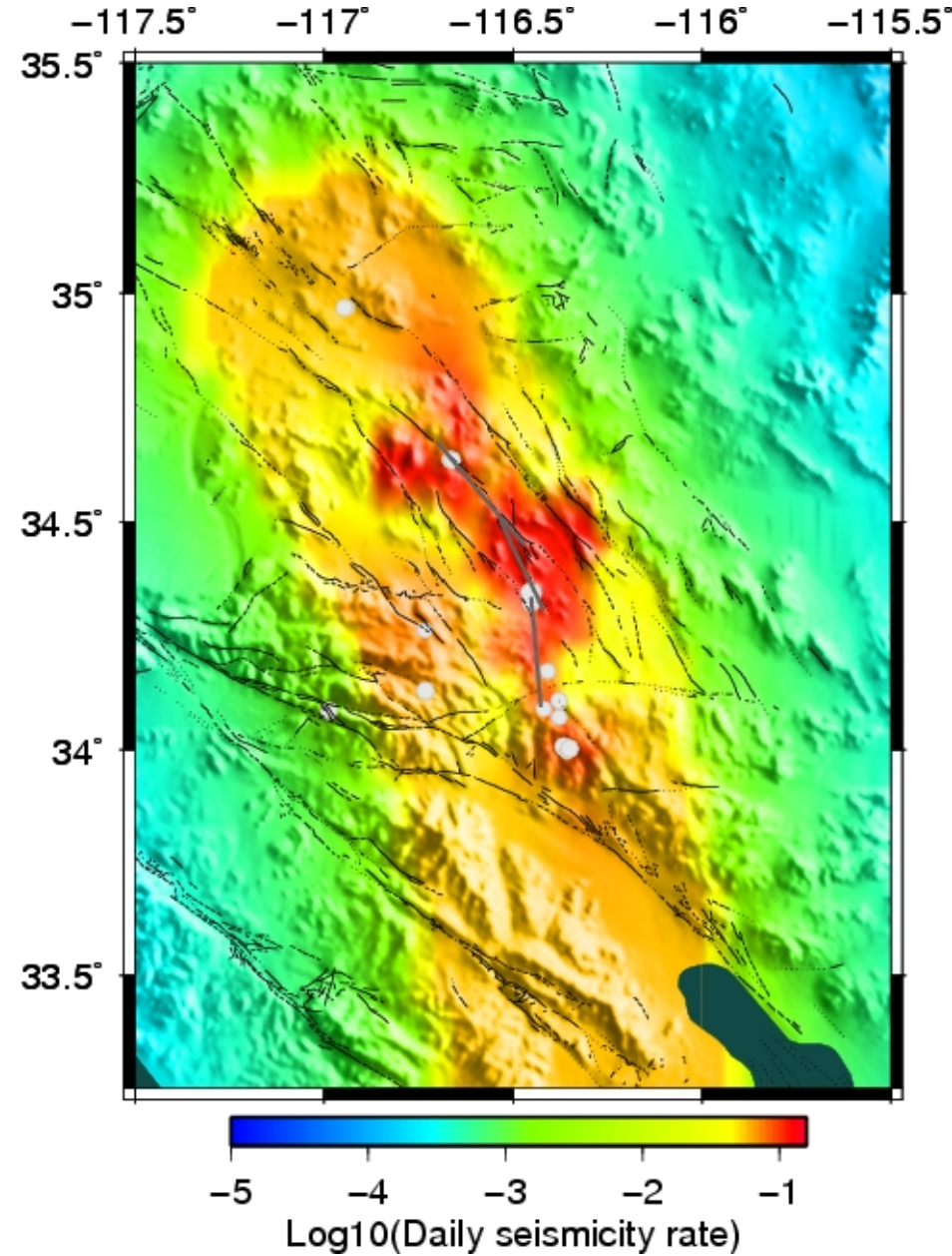


Forecast: Day 3 (30-31.6.1992)

STEP generic



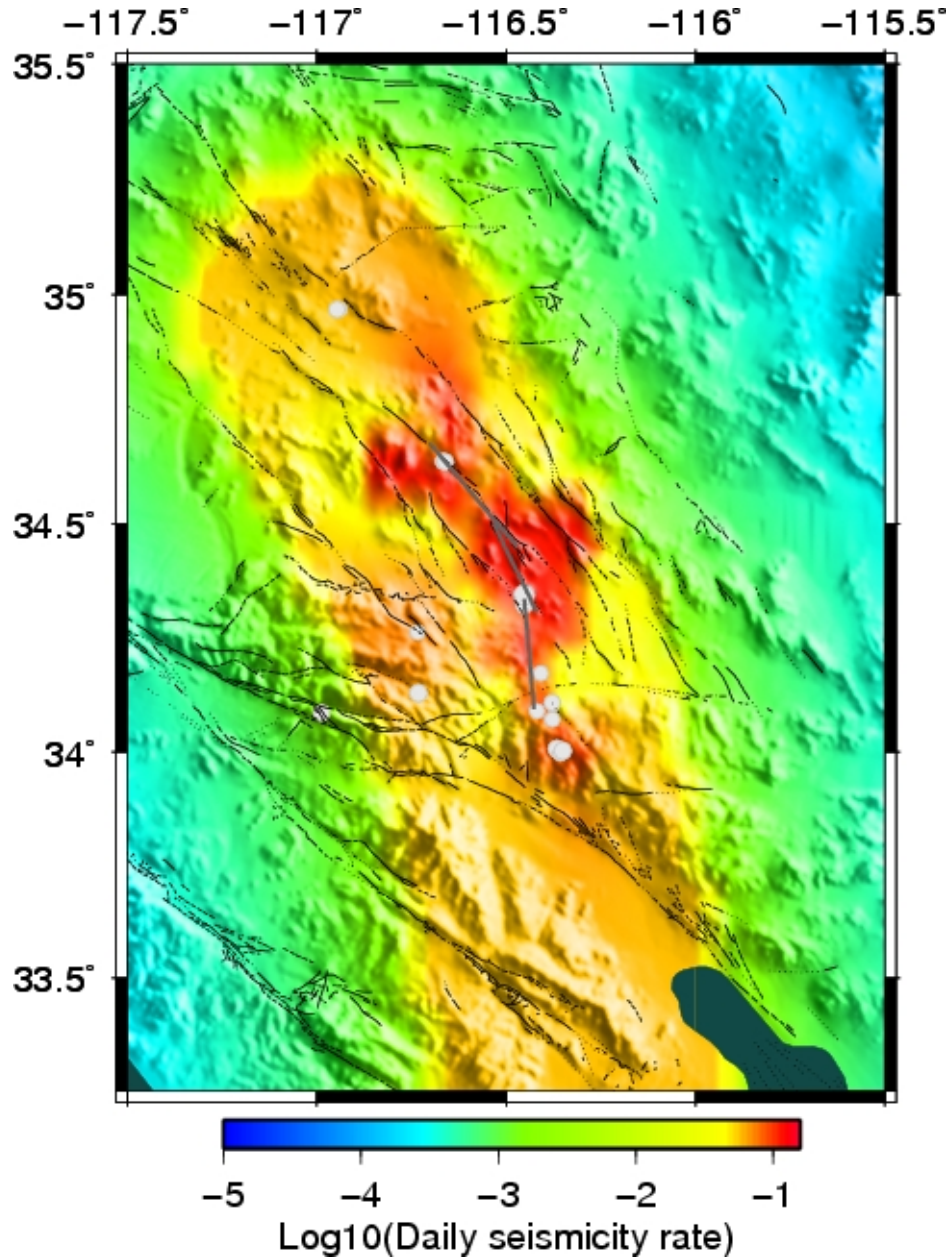
STEP generic element Coulomb scaled



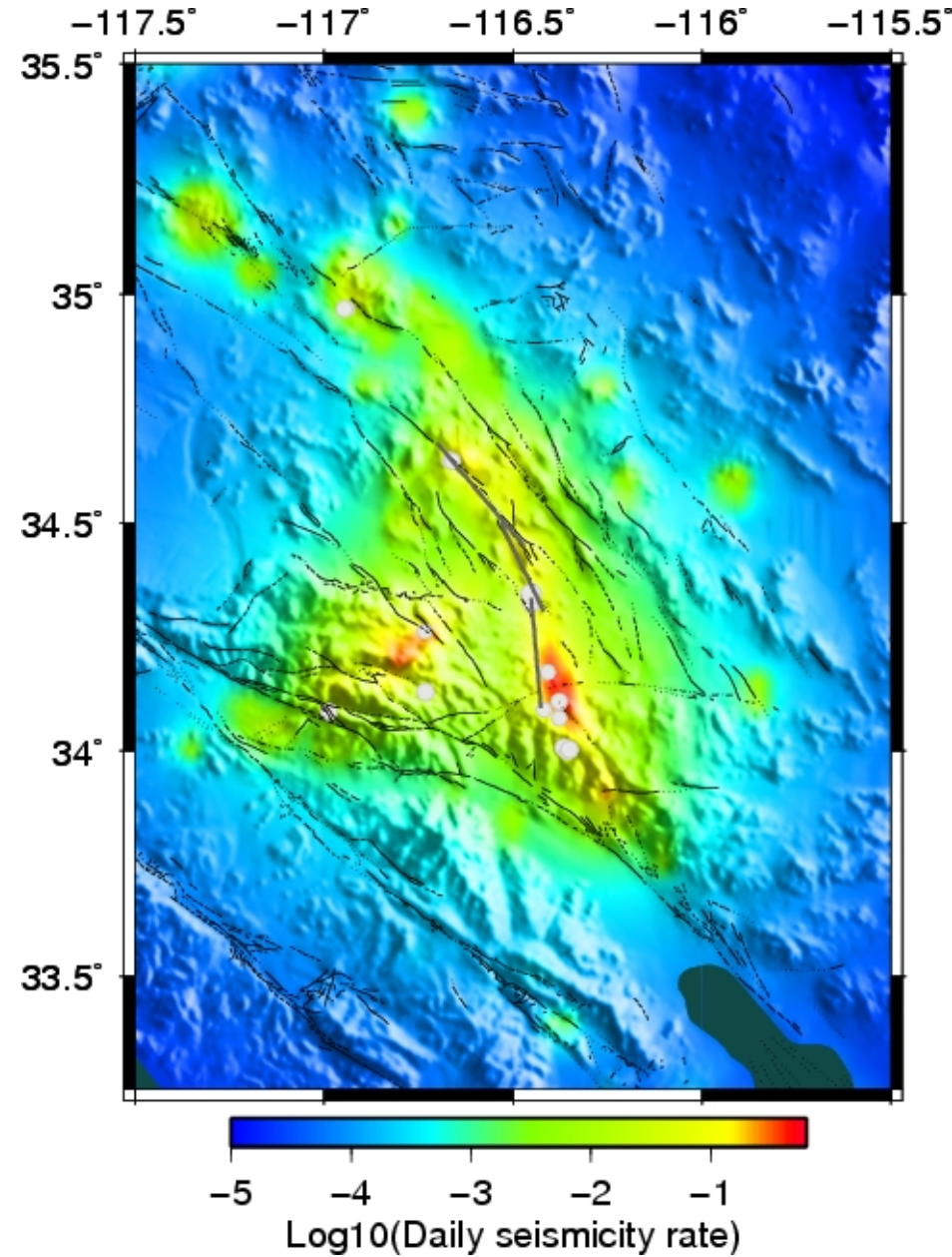


Forecast: Day 3 (30-31.6.1992)

**STEP generic element
Coulomb scaled**



ETAS



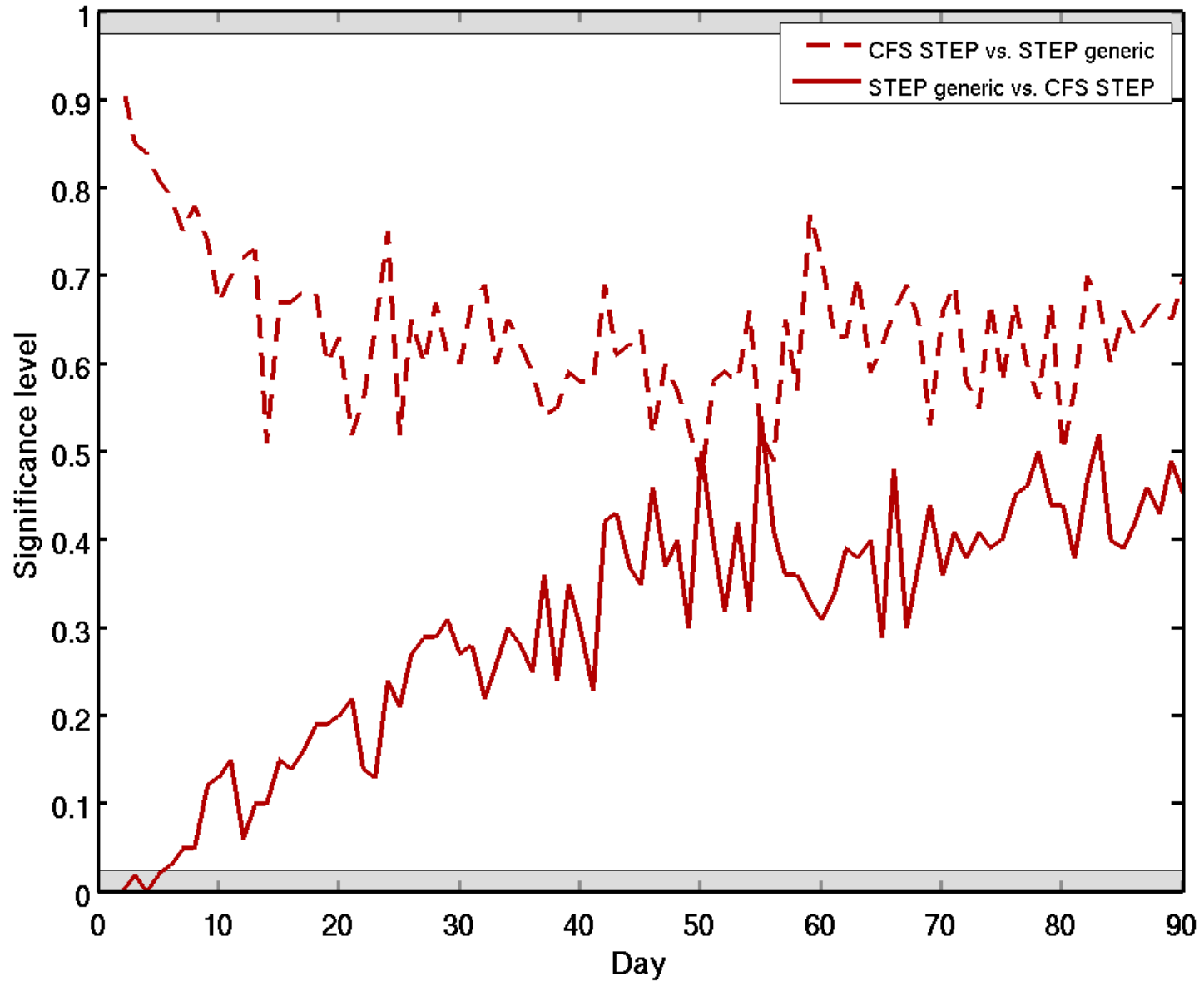


RELM-Tests

- **L-Test:** Data consistency test in likelihood space
- **N-Test:** Data consistency test in number space
- **R-Test:** Likelihood ratio test for relative performance of forecast models:
 - Use forecast of one model as Null-hypothesis, forecast of second model as Test-hypothesis

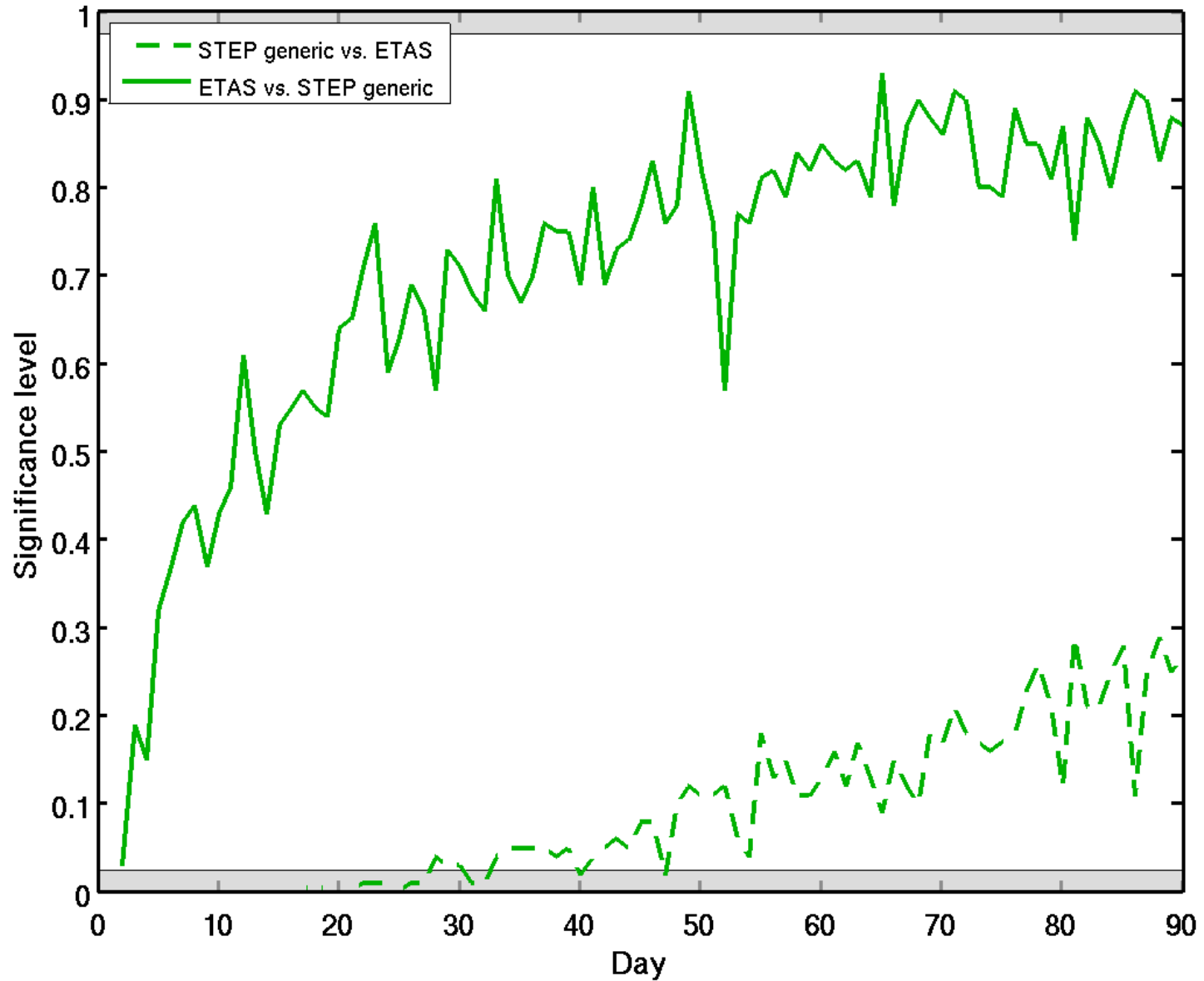


R-Test: Time series



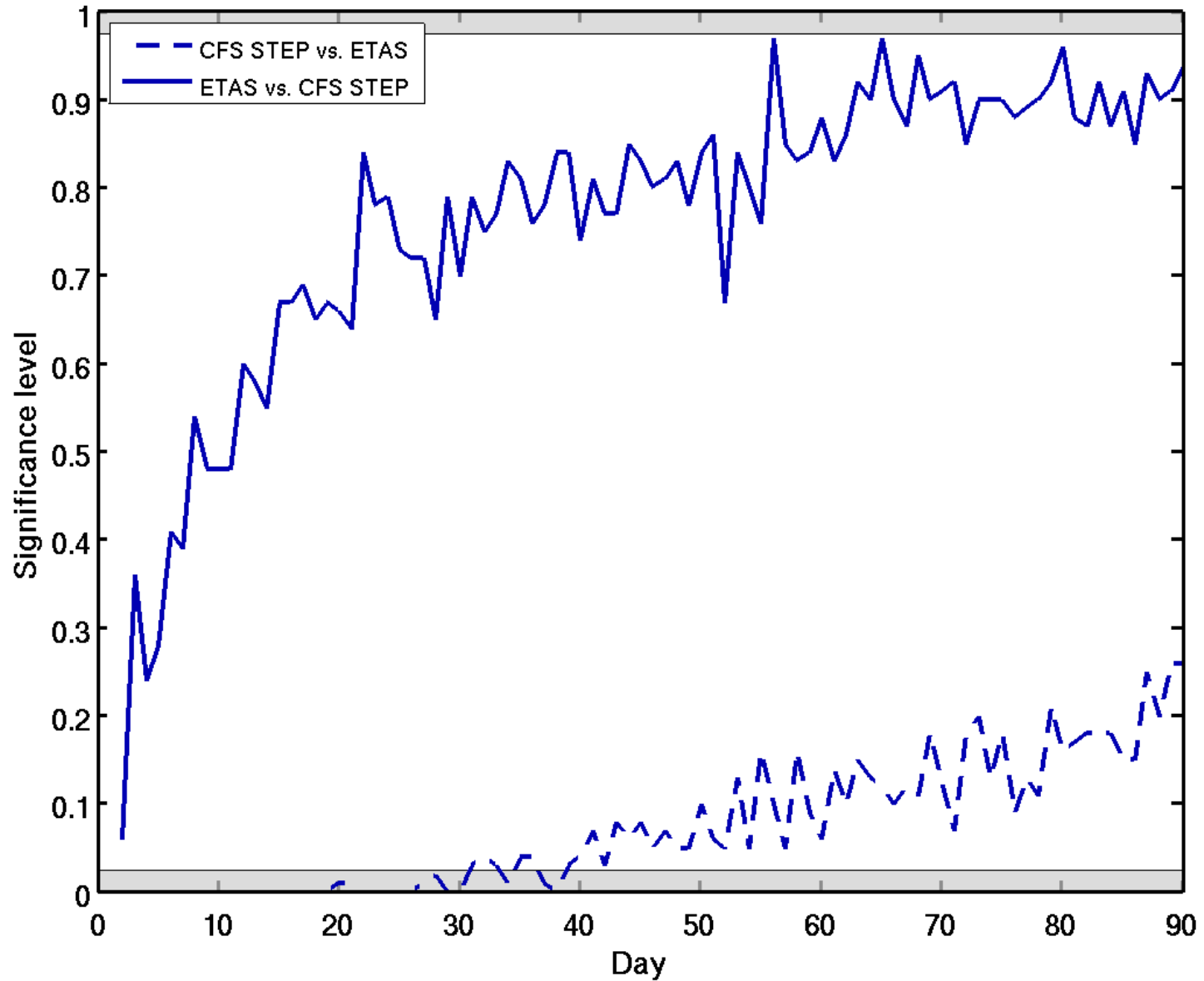


R-Test: Time series





R-Test: Time series





Retrospective Testing Summary

- R-Test supports **ETAS** as superior model of the evaluated ones
- STEP model capabilities **not fully** explored
- Including **more models**:
Coulomb in combination with rate- and state friction model needs to be tested against (INGV)
- **Forecasting scheme with memory**: work in progress



STEP - Switzerland

Needed or not? Sure!

- Destructive historical earthquakes (1356 Basel, Mw=6.9)
- Geothermal injection experiment in Basel in 2006

Forscher lösen in Basel Erdbeben aus - Schweiz - News - Blick Online - Mozilla Firefox

File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.blick.ch/news/schweiz/artikel51141

Mail MyWeb Family Pikett SeisInfo Sport1 LEO SUSE Linux CurrencyConverter ZMAP-Trac

Blick ONLINE

NEWS SCHWEIZ

Forscher lösen in Basel Erdbeben aus

05.12.2006 | 09:02:25

BASEL – In Basel bebt heute die Erde, viele kriegen es mit der Angst zu tun. Das Beste: Ein Projekt der ETH war die Ursache, dass es «recht geschüttelt» hat.

MEHR ZUM ETH-PROJEKT
WWW.SEISMO.ETHZ.CH

Das Beben erreichte um 17:49 Uhr eine Magnitude von 3.4 auf der Richterskala, sagte der Schweizerische Erdbebendienst. Das heisst: «Es hat nicht geschüttelt», sagte ein Polizist auf der Einsatzzentrale. Entsprechend versichert war es viele Basel bei der Katastrophenschutz gegen zahlreiche Anfälle ein Über-Schaden ist noch nicht bekannt.

Dabei hatten Geologen mit einem kleinen Beben gerechnet. Denn seit einigen Tagen wird ein Projekt für den Wärmebergbau durchgeführt. Denn wird Wasser durch eine fünf Kilometer tiefe Bohrung in das Gestein gepumpt, um die Durchlässigkeit des Gesteins zu erhöhen. Dieser Vorgang ist von kleinen Erdbeben, so genannten Mikrobeben begleitet, wie es in der Beschreibung des Projekts heisst – aber dass die Erde nur demassen stark rütteln würde, überraschte die Forscher.

Dieses Beben sei nur eindeutig stärker gewesen, als man es erwartet habe, sagte Manfred Baer, Leiter des seismischen Messdienstes Schweiz beim Erdbebendienst an der ETH Zürich. Er räumte ein, dass das Projekt mit einem gewissen Risiko verbunden sei. Die Experten der federführenden Firma Geothermie Epylvers seien aber in der Lage, nach zu reagieren.

Seit Beginn der Bohrungen, mit denen untersucht wird, ob sich Erdwärme kommerziell nutzen lässt, hat der Erdbebendienst 17 Mikrobeben in Basel registriert. Sie hatten bisher eine maximale Magnitude von 1.7 – das heisst, sie waren doppelt so schwach wie das heutige Beben. Bleibt zu hoffen, dass ein solches Projekt das Risiko auch weit ist – und dass die Forscher wirklich wissen, was sie tun.

ERDWÄRMEPROJEKT WIRD VORLÄUFIG SUSTIERT

Nach dem Auslösen eines unerwartet starken Erdbebens wird das Pilotprojekt für Wärmebergbau in Basel vorläufig abgebrochen. Das Einpressen des Wassers in das Bohrloch in Klüftungen werde bis auf weiteres eingestellt, teilte die betroffene Firma und die Katastrophenschutz des Kantons Basel-Stadt in der Nacht auf heute mit.

Die Firma Geopover entschuldigte sich in aller Form für die unerwartet massiven Folgen des Projekts, mit dem untersucht werden soll, ob sich Erdwärme kommerziell nutzen lässt. Die Firma kündigte umgehend alle nötigen wissenschaftlichen Maßnahmen an. Die Staatsanwaltschaft Basel-Stadt leitete eine Untersuchung ein.

Während des Abbaus des Wasserdrucks in fünf Kilometer Tiefe kann es bei der Mithilfe zu weiteren Erdstössen mit geringerer Intensität kommen. Der Kantone Wasserab bleibt deshalb «versus in Klüftungsarbeiten». Beim so genannten Deep-Heat-Mining-Projekt wird seit Anfang Dezember Wasser durch eine fünf Kilometer tiefe Bohrung in Klüftungen in das Gestein gepumpt, um die Durchlässigkeit des Gesteins zu erhöhen.

SCHWEIZ

MANN ZIELT AUF FÜNF KINDER

GLEITSCHER SCHLUCHT ZU PFINGSTEN WIEDER OFFEN

HAUPTSTRATEGIEN DES BUNDESRATS GUT GEHEISSEN

LEVENBERGER TRIFFT EU-UMWELTMINISTER

190 ROMA KEHREN NACH RUMÄNIEN ZURÜCK

ZÜRCHER BOMBARDIERER FESTGENOMMEN

JAHRELANG GESUCHTER MÖRDER AUSGELIEFERT

KÄLTESCHOCK AM PFINGSTMONTAG

GOLD-COUP IM JURA

ÜBERLINGEN-PROZESS: FLUGLOTSE ERNEUT BELASTET

WEITERE ARTIKEL IN DER RUBRIK NEWS

MOSCHES-SPION: VORWÜRFE ABGESCHMETTERT

EINGECKECKT MIT PISTOLEN UND SPRENGSTOFF

KÄLTESCHOCK AM PFINGSTMONTAG

GOLD-COUP IM JURA

KRANKER FAN

BERN: JEDER HUNDEBISS WIRD REGISTRIERT

«REGGIE» NACH WILDEM KAMPF EINGEFANGEN

Done

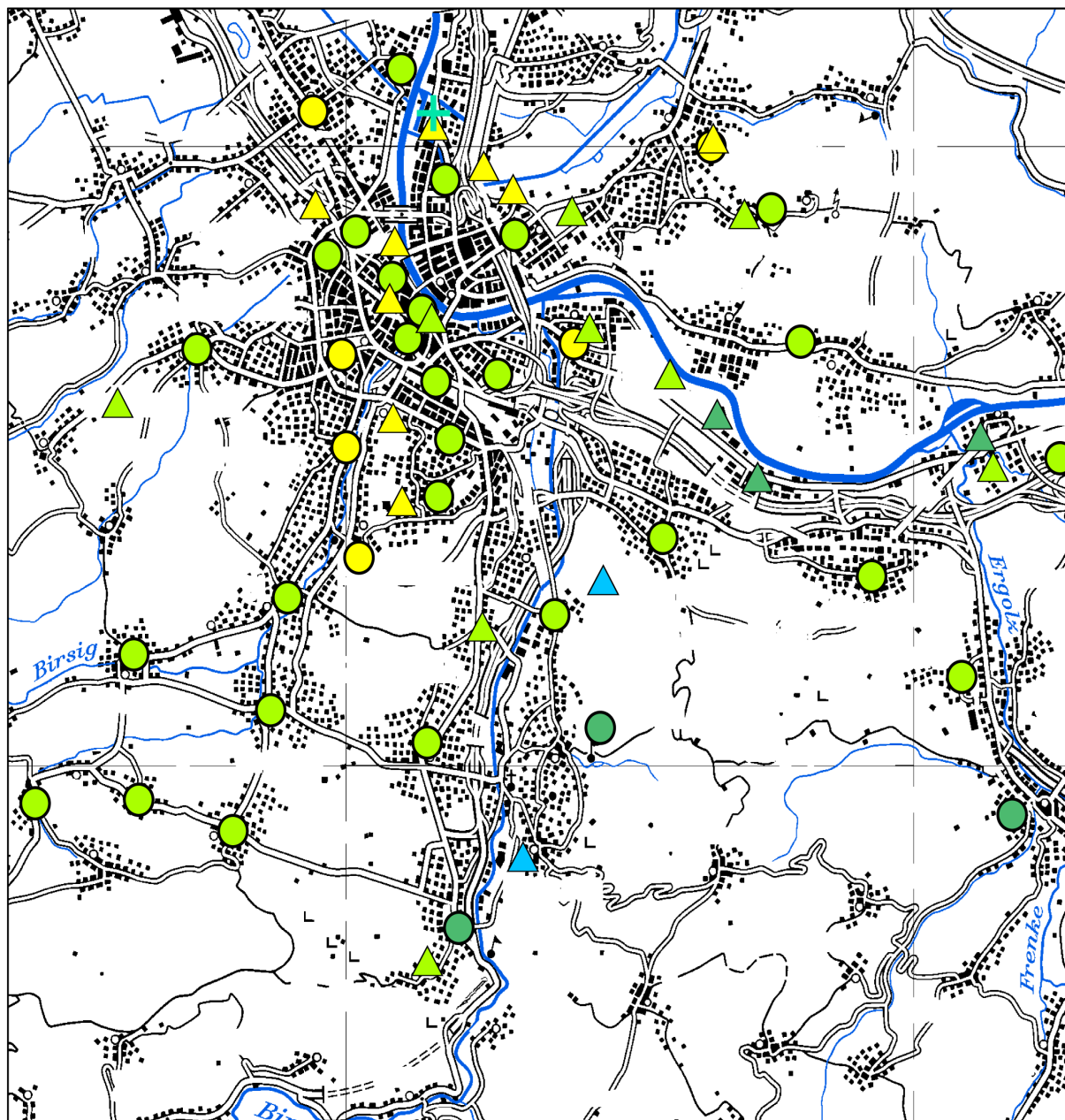
2:1 Now: Partly Sunny, 27° C Fri: 16° C Sat: 27° C

05:58 pm 05/25/07

Researchers cause earthquake in Basel



Observed vs. instrumental intensities



intensities
for the 2006-12-08 Basel event
(MI=3.4)

Macroseismic Intensity

- I
- II
- III
- IV
- V
- VI

instrumental intensity estimated from pgv

- ▲ II
- ▲ III
- ▲ IV
- ▲ V

$M_L=3.4,$
Basel,
08.12.2006

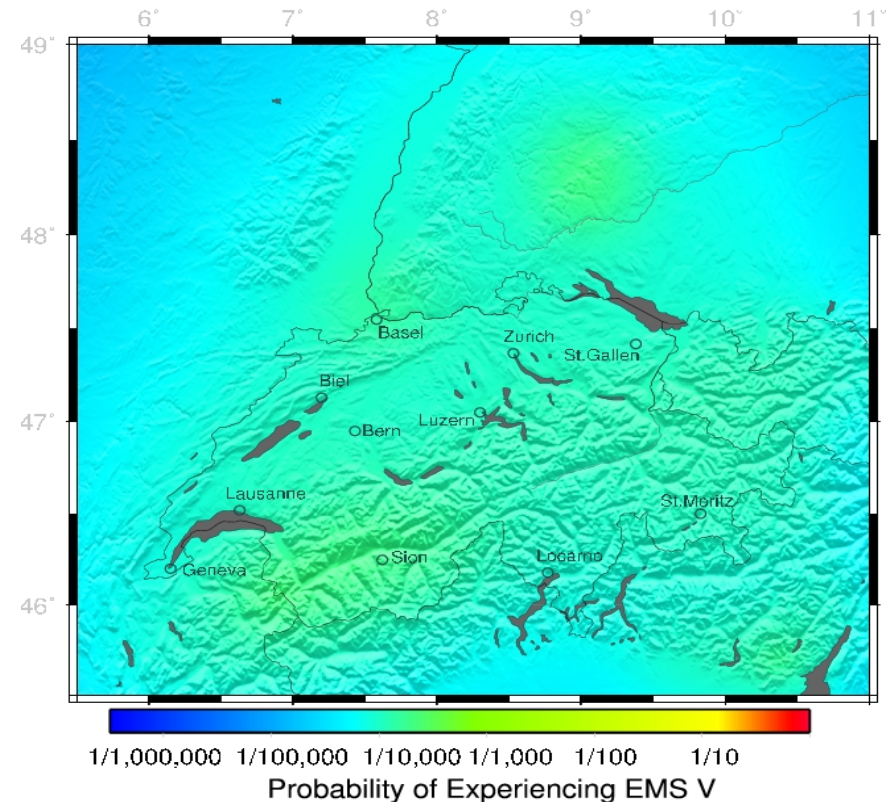


STEP - Switzerland

Background

Challenges:

- low-seismicity region: low aftershock productivity region?
- are there other models more appropriate for this region?



Based on Swiss Seismic
Hazard 2004
(Giardini et al., 2004)



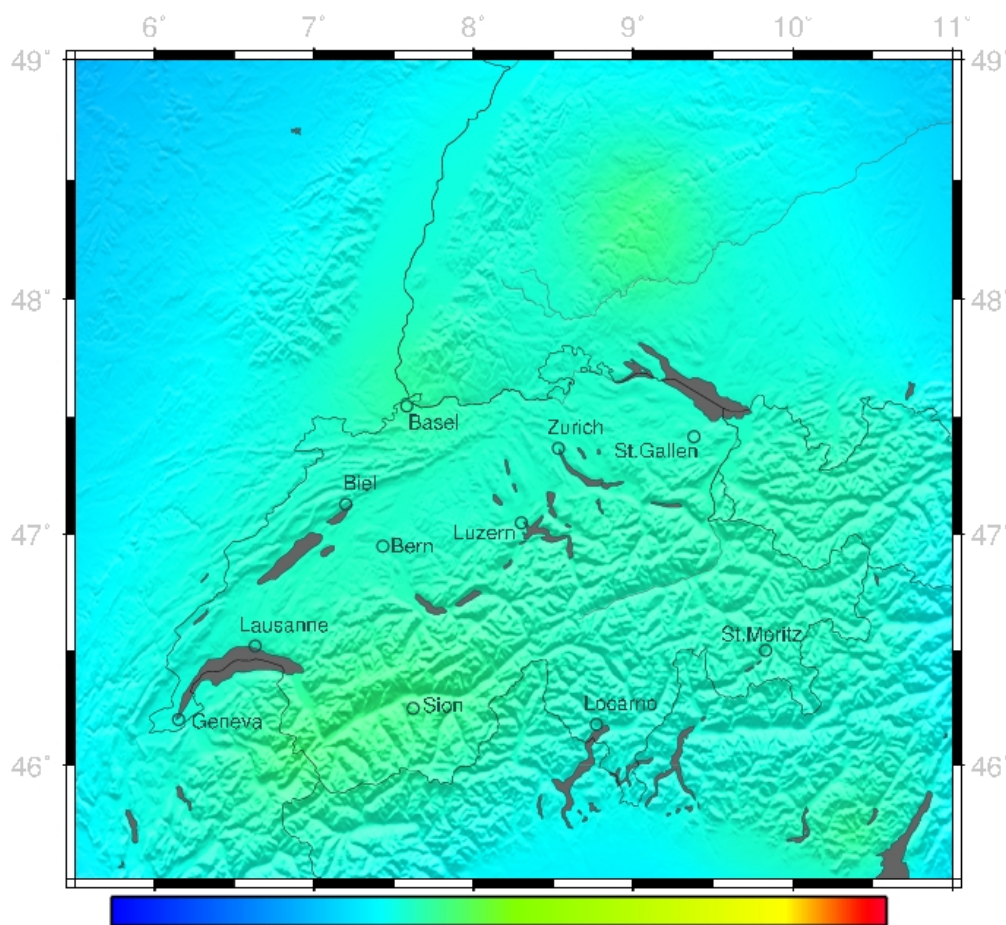
STEP - Switzerland

Forecast for 8.12.2006, 16:00 (MET)

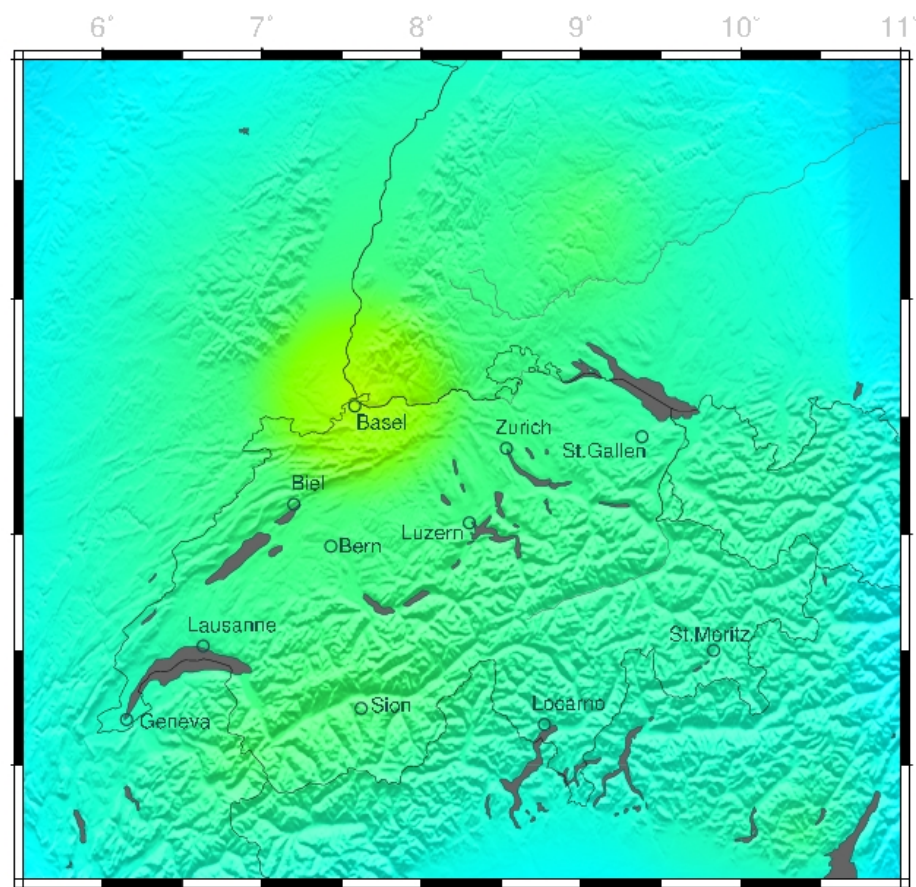
through 9.12.2006, 16:00 (MET)

Forecast for 8.12.2006, 17:00 (MET)

through 9.12.2006, 17:00 (MET)



1/1,000,000 1/100,000 1/10,000 1/1,000 1/100 1/10
Probability of Experiencing EMS V



1/1,000,000 1/100,000 1/10,000 1/1,000 1/100 1/10
Probability of Experiencing EMS V



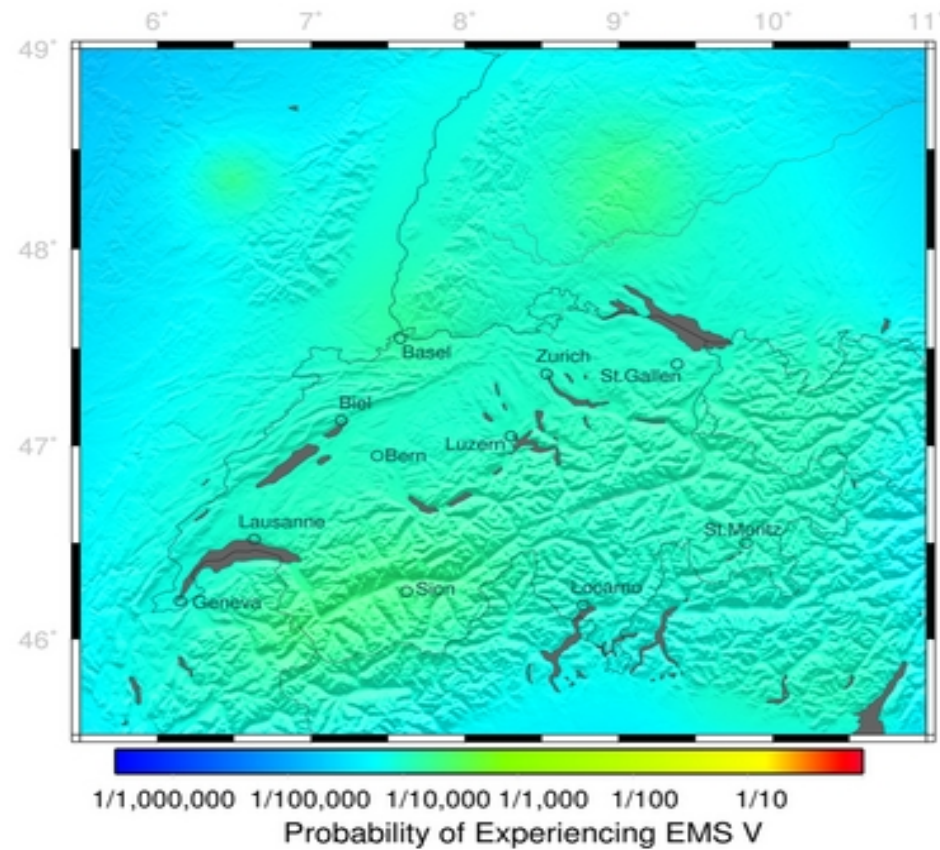
Summary

- **Stable** real-time implementation
- **Regionalization** of seismicity parameters: new methodologies needed for **low-seismicity** region
- Improvement of **attenuation function**
- STEP on a **very local scale**: probability forecast for **induced seismicity**



STEP – Switzerland: Today

Forecast for 06/01/2007 09:30 AM CEST
through 6/2/2007 09:30 AM CEST





Summary

- **Stable** real-time implementation
- **Regionalization** of seismicity parameters: new methodologies needed for **low-seismicity** region
- Improvement of **attenuation function**
- STEP on a **very local scale**: probability forecast for **induced seismicity**



Work In Progress

STEP in Turkey - Studying the North Anatolian Fault System:

Properties of the aftershock Sequence of the 1999 Mw 7.4 Kocaeli Earthquake: Implication for Aftershock Hazard

**M.B. Demircioglu, S. Wiemer, J. Woessner,
K. Sesetyan, M. Erdik**

