



Seismologie und Geodynamik in der Schweiz: Was kann GNSS beitragen ?

Markus Rothacher und Simon Häberling
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich

Motivation: Erdbeben Basel 1356 (Karl Jauslin)

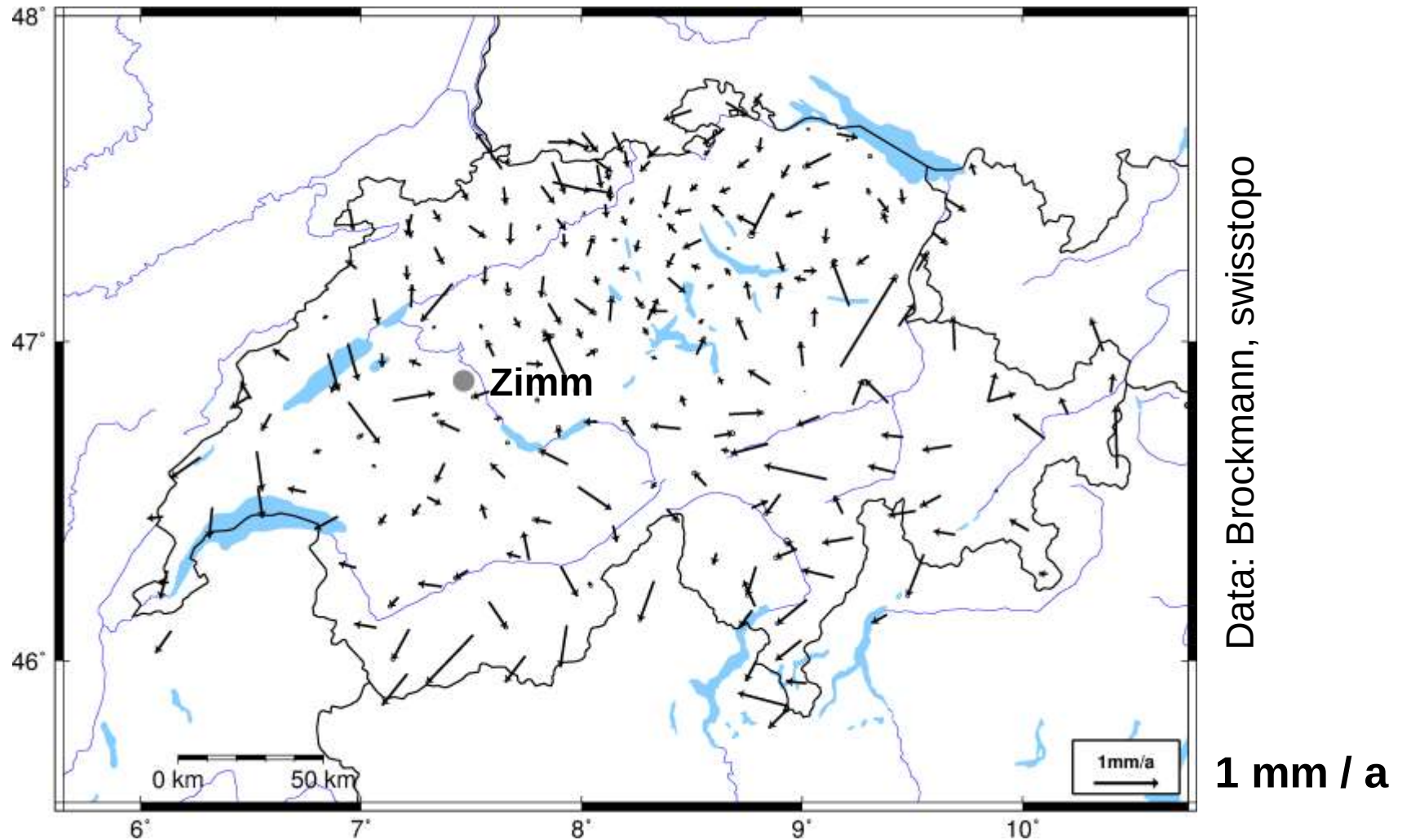


Übersicht

- Motivation
- Drei Beiträge von GNSS
 - (1) Geodynamik und Spannungen aus GNSS
 - (2) Verschiebungen bei grossen Erdbeben
 - (3) GNSS-Seismologie und Rütteltischtests
- Erdbeben in der Schweiz
- Zukünftige Entwicklungen

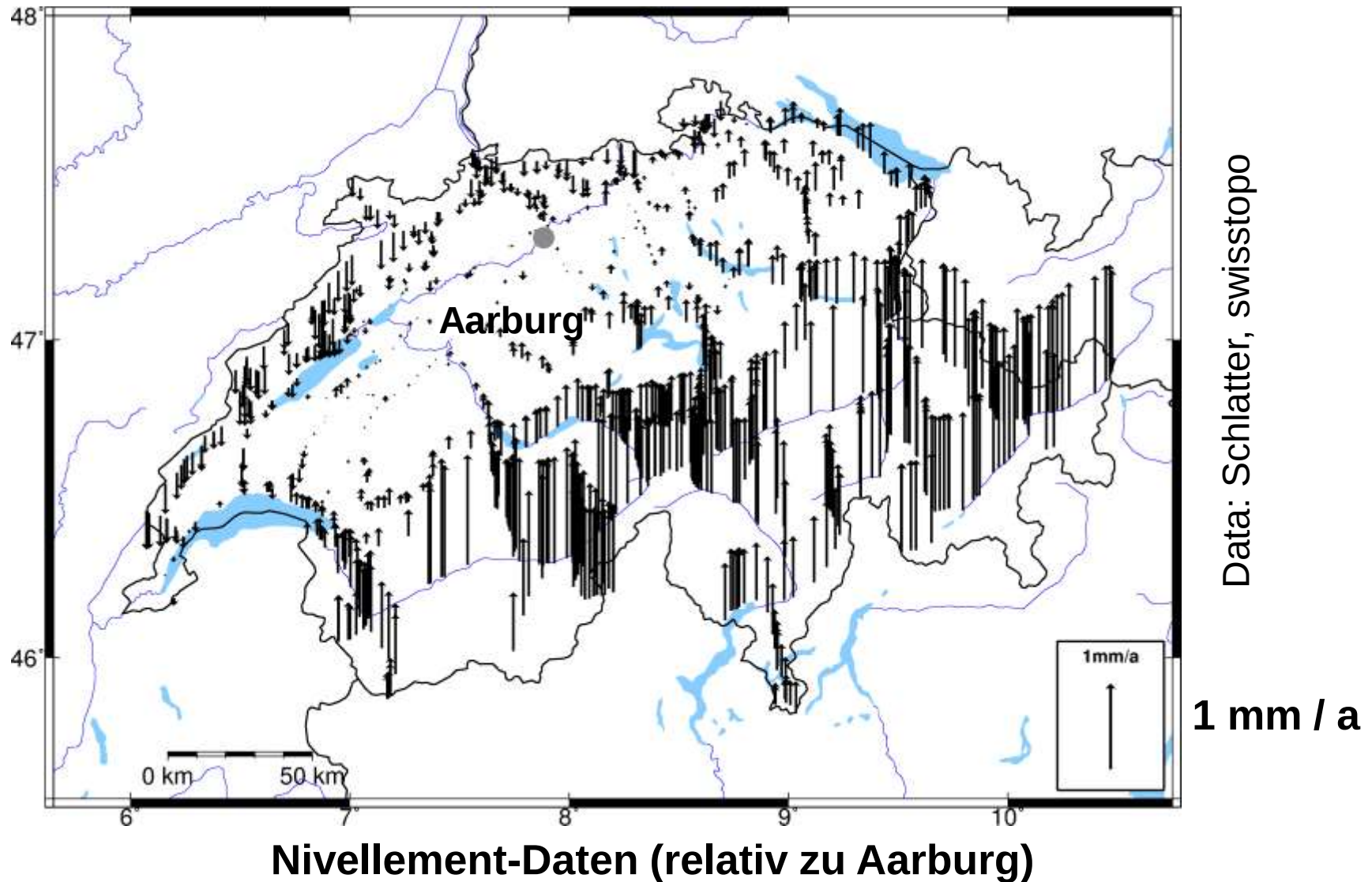
Geodynamik und Spannungen aus GNSS

CHTRF 2010 (Horizontale Geschwindigkeiten)



CHTRF 2010 Geschwindigkeiten relativ zu Zimmerwald

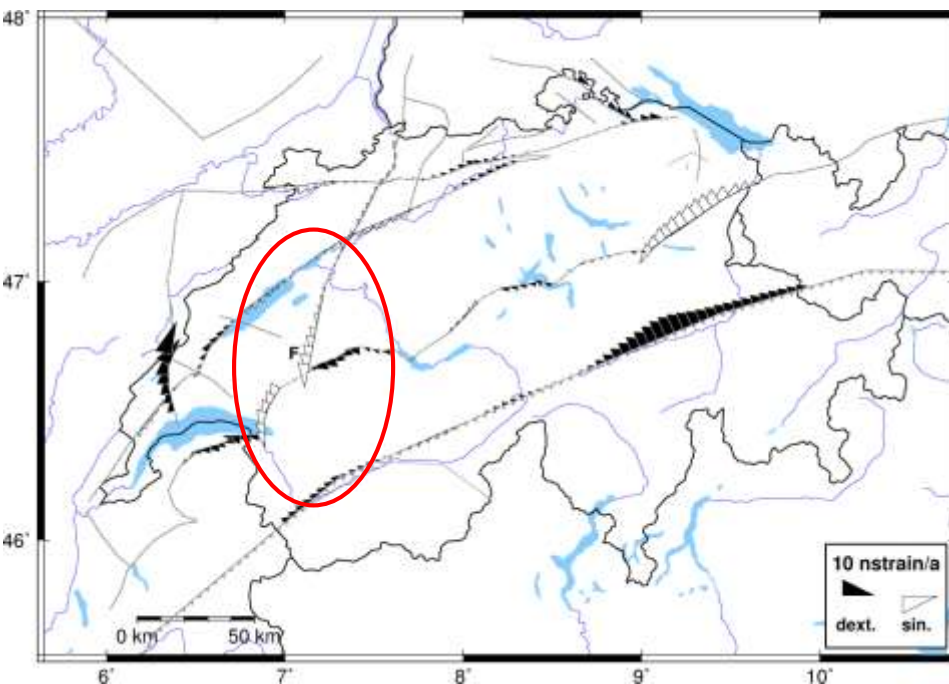
Nivellement-Daten (Hebungsraten)



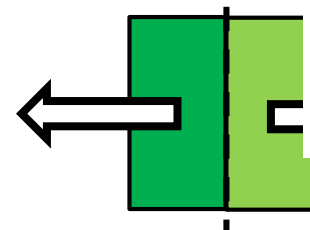
2D-Strain: auf den Bruch projiziert

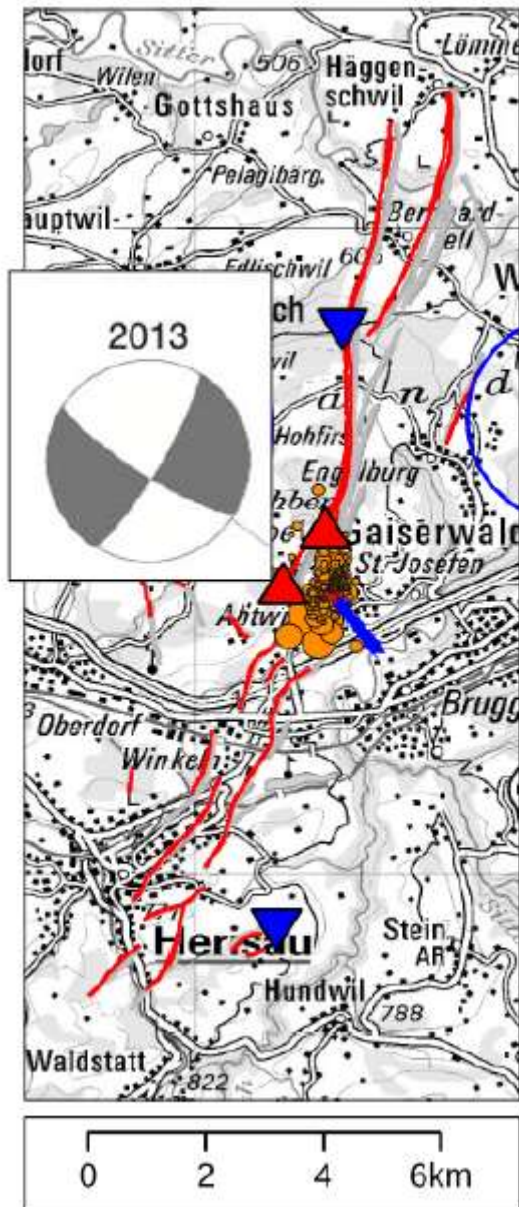
[Kastrup 2007, Geophys. J. Int.]

Scherspannung

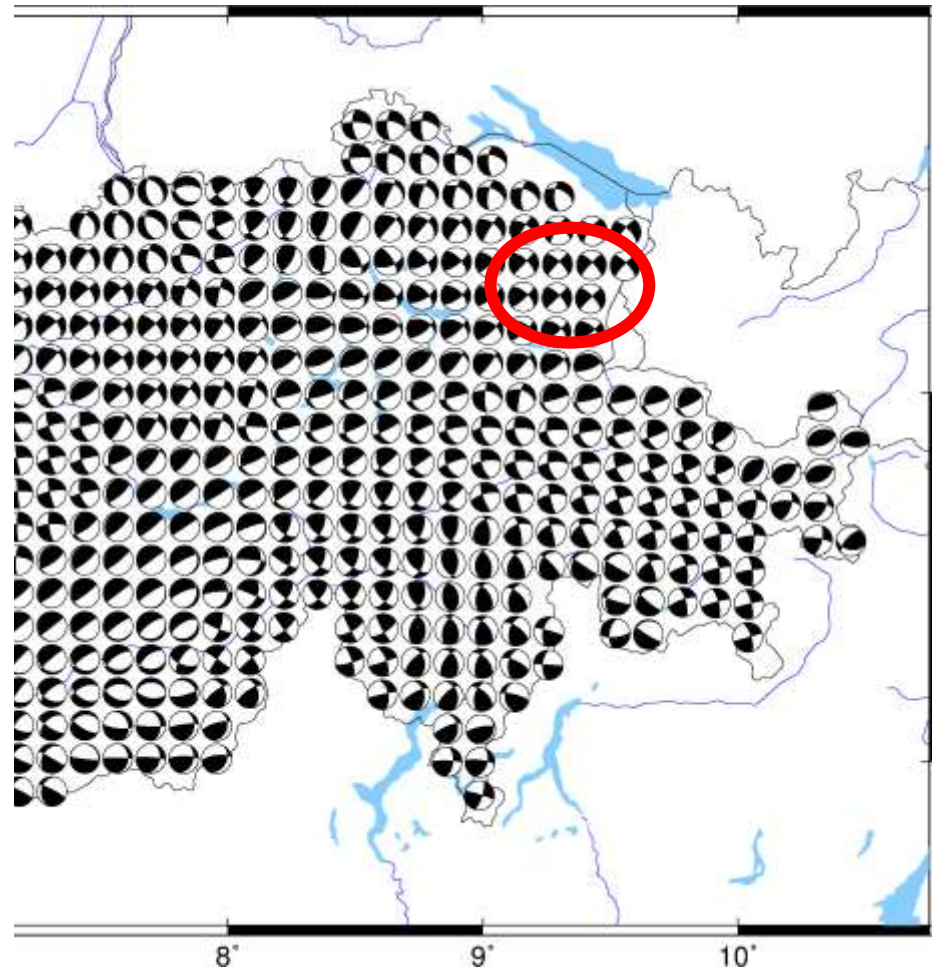


Normale





Verwerfungsebenen (fault planes) aus GNSS

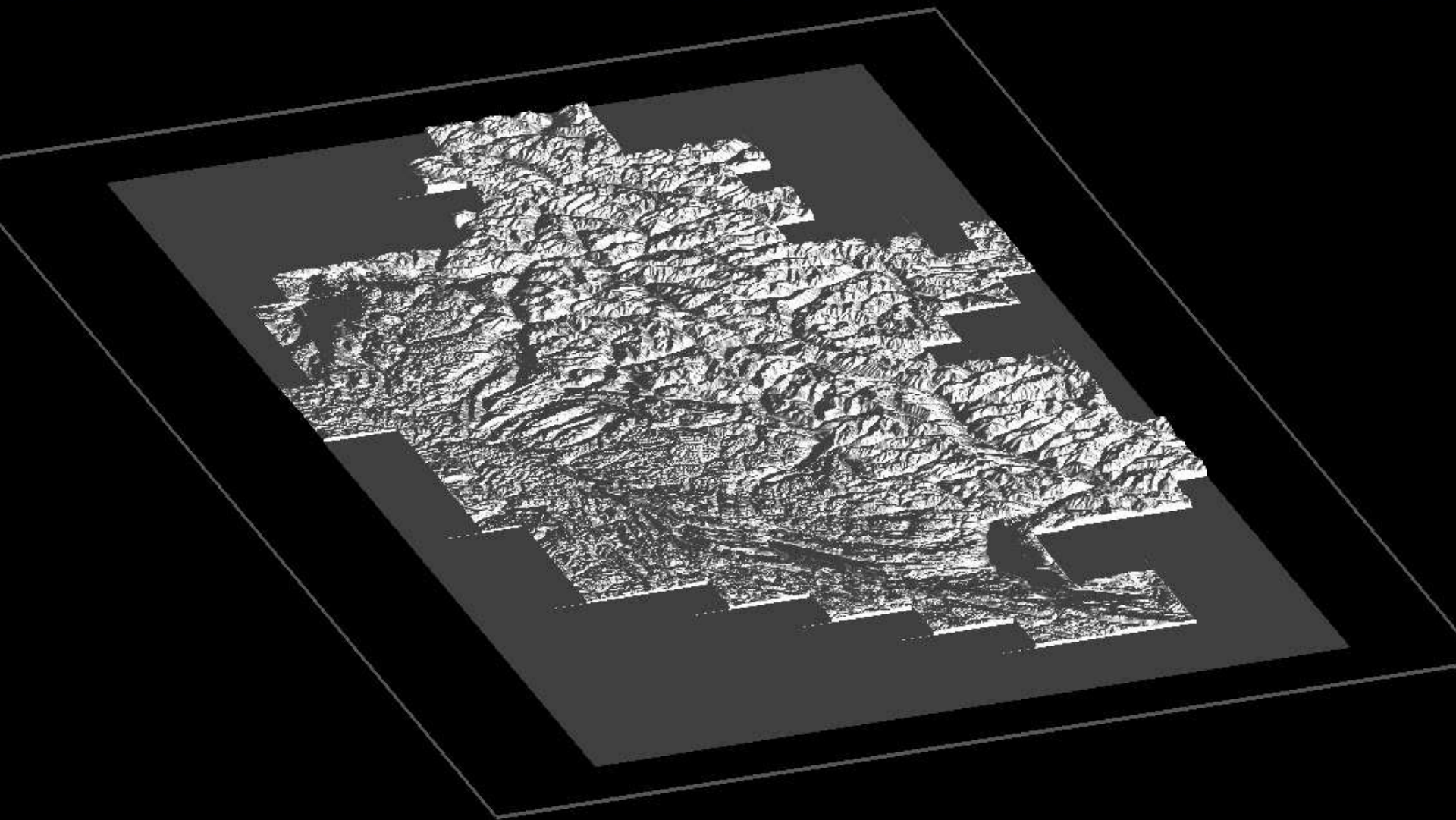


[SED, Medienkonferenz 27.8.2013: Geothermie St. Gallen]

0 Myr

Time

50 Myr

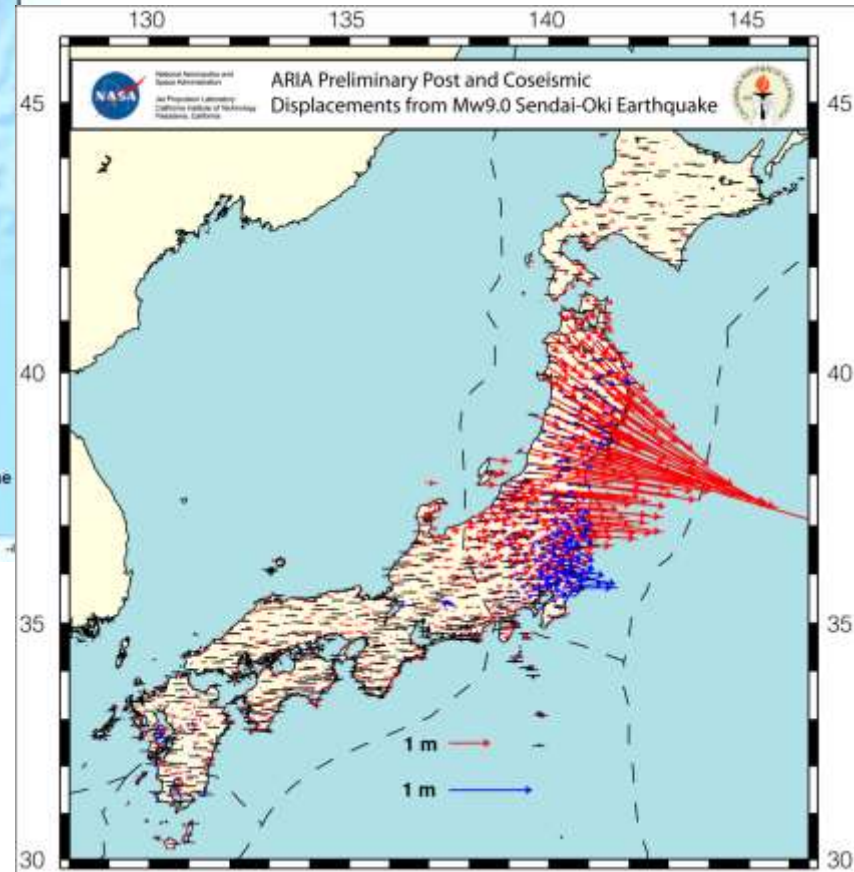


Verschiebungen bei grossen Erdbeben

GNSS-Verschiebungen bei grossen Erdbeben

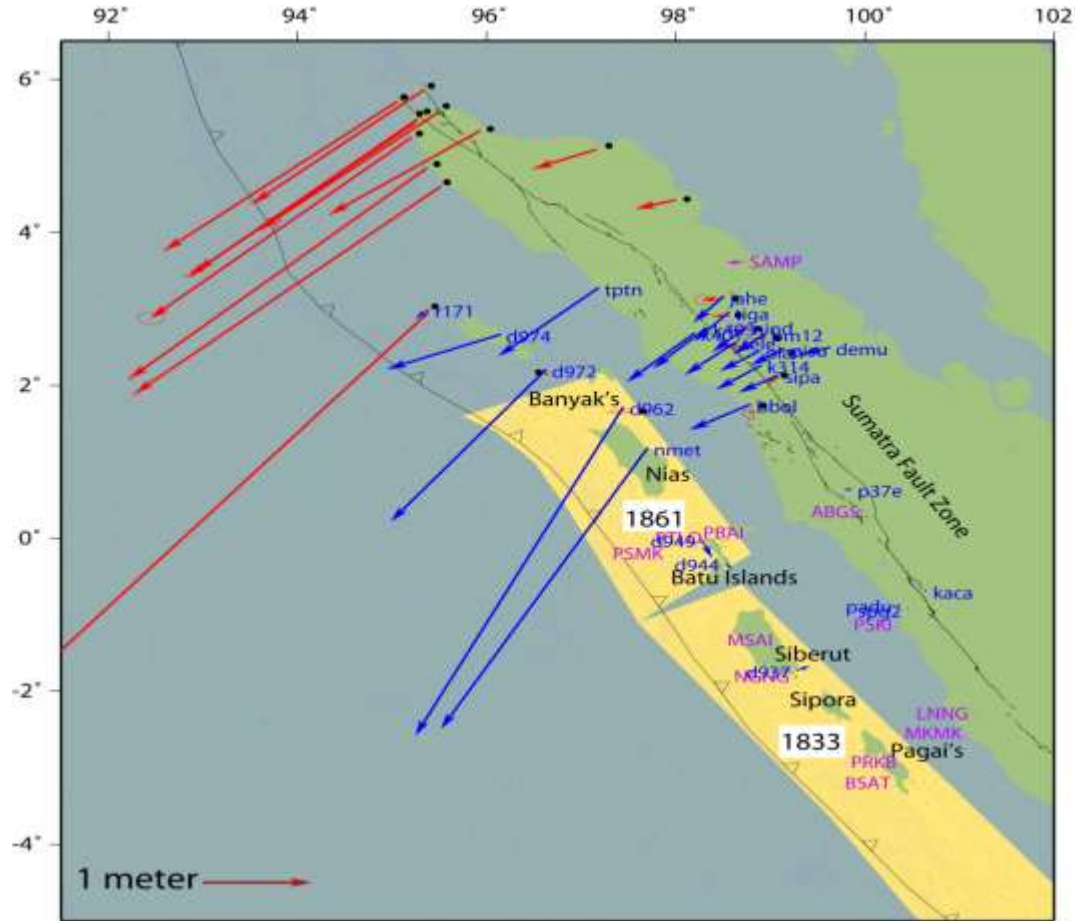


Erdbeben in Chile, 27. Feb. 2010 (DGFI)



in Sendai, 11. März 2011 (NASA)

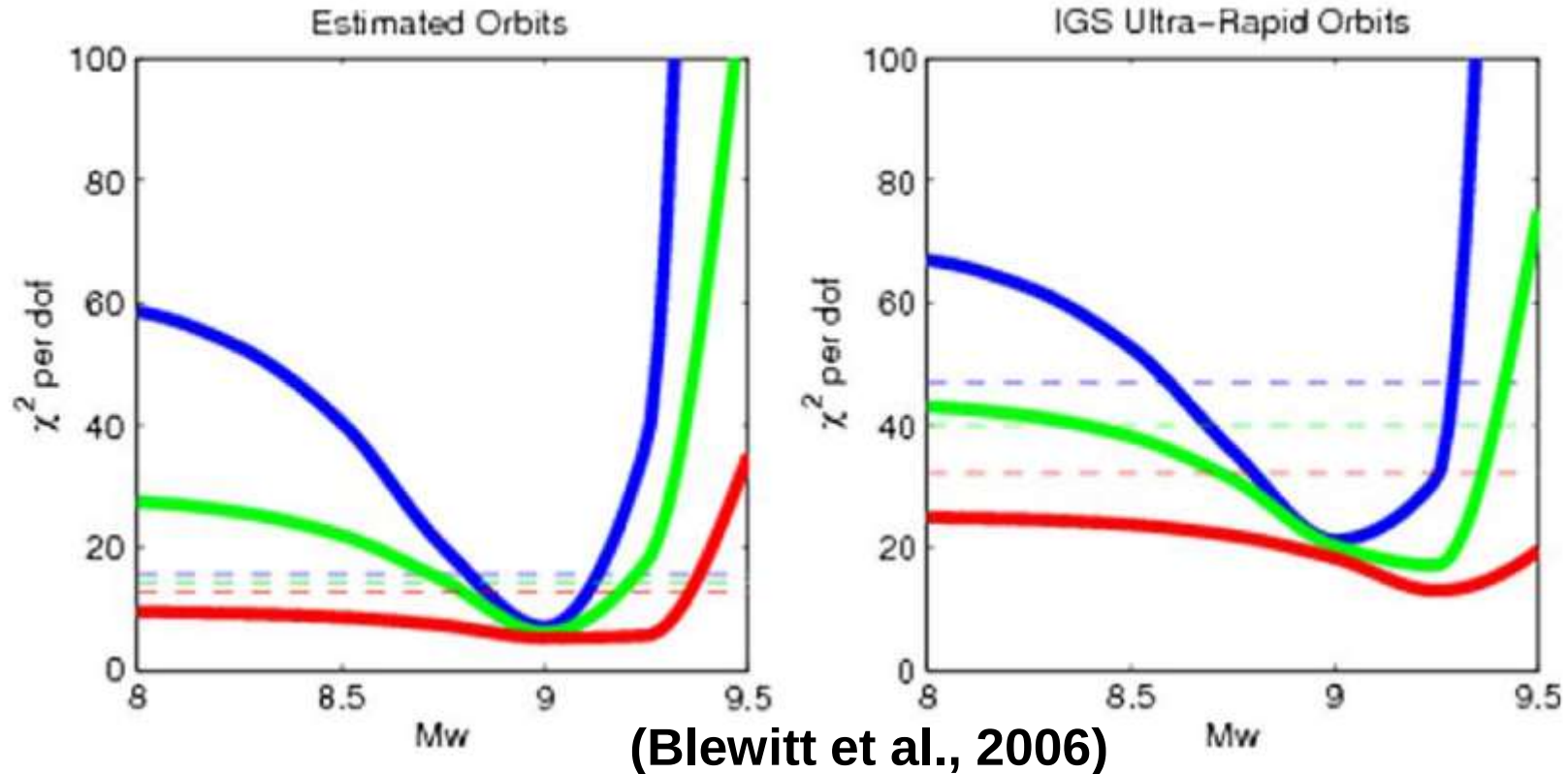
Regionale Verdichtung mit GNSS: Sumatra-Beben



- Sumatra, Banda Aceh: Mit GNSS gemessene Verschiebungen geben **wichtige Information für das Modellieren des Bruchprozesses**
- Heute ist eine Überwachung der Verschiebungen in nahezu Echtzeit möglich.
- In Zukunft: dichte GNSS-Netze mit Echtzeit Überwachung

Koseismische Verschiebung mit GPS:
Erdbeben vom 26. Dezember 2004
Erdbeben vom 28. März 2005

Erdbebenmagnitude aus GNSS-Verschiebungen

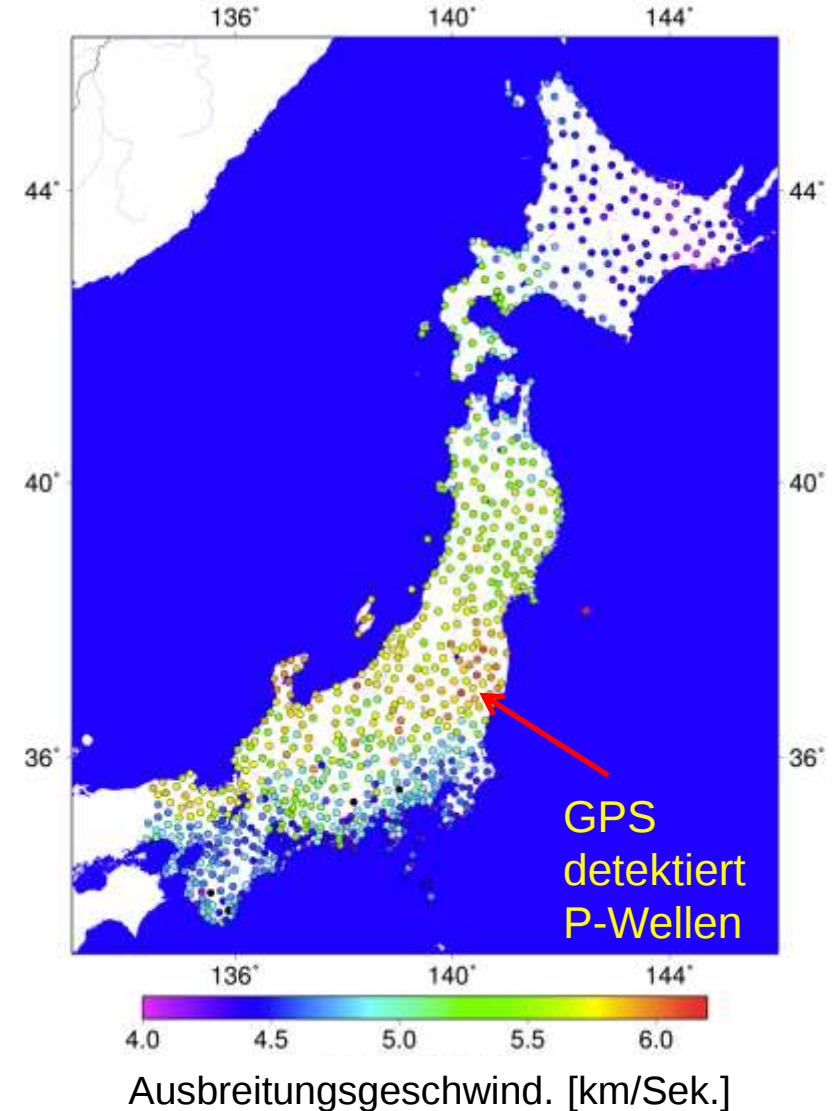
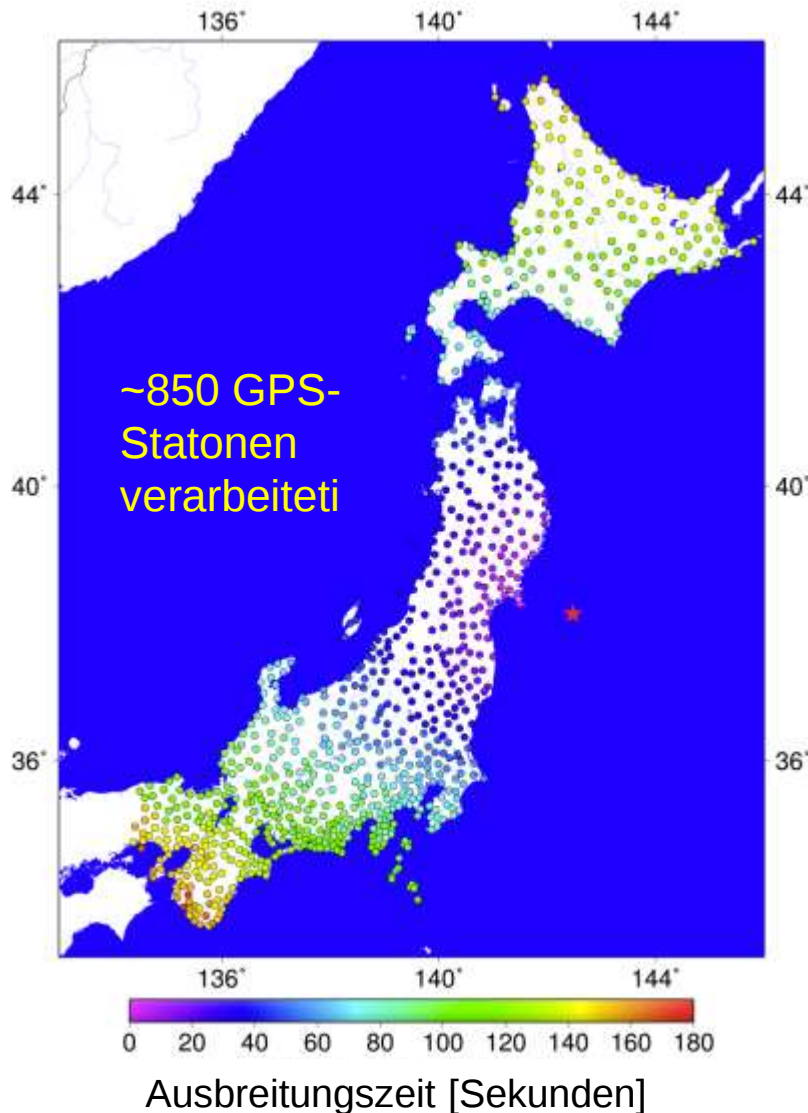


Blau: alle Stationen, Grün: ohne SAMP (300 km), Rot: ohne SAMP und NTUS (900 km), gestrichelt: 95% Konfidenzlinie

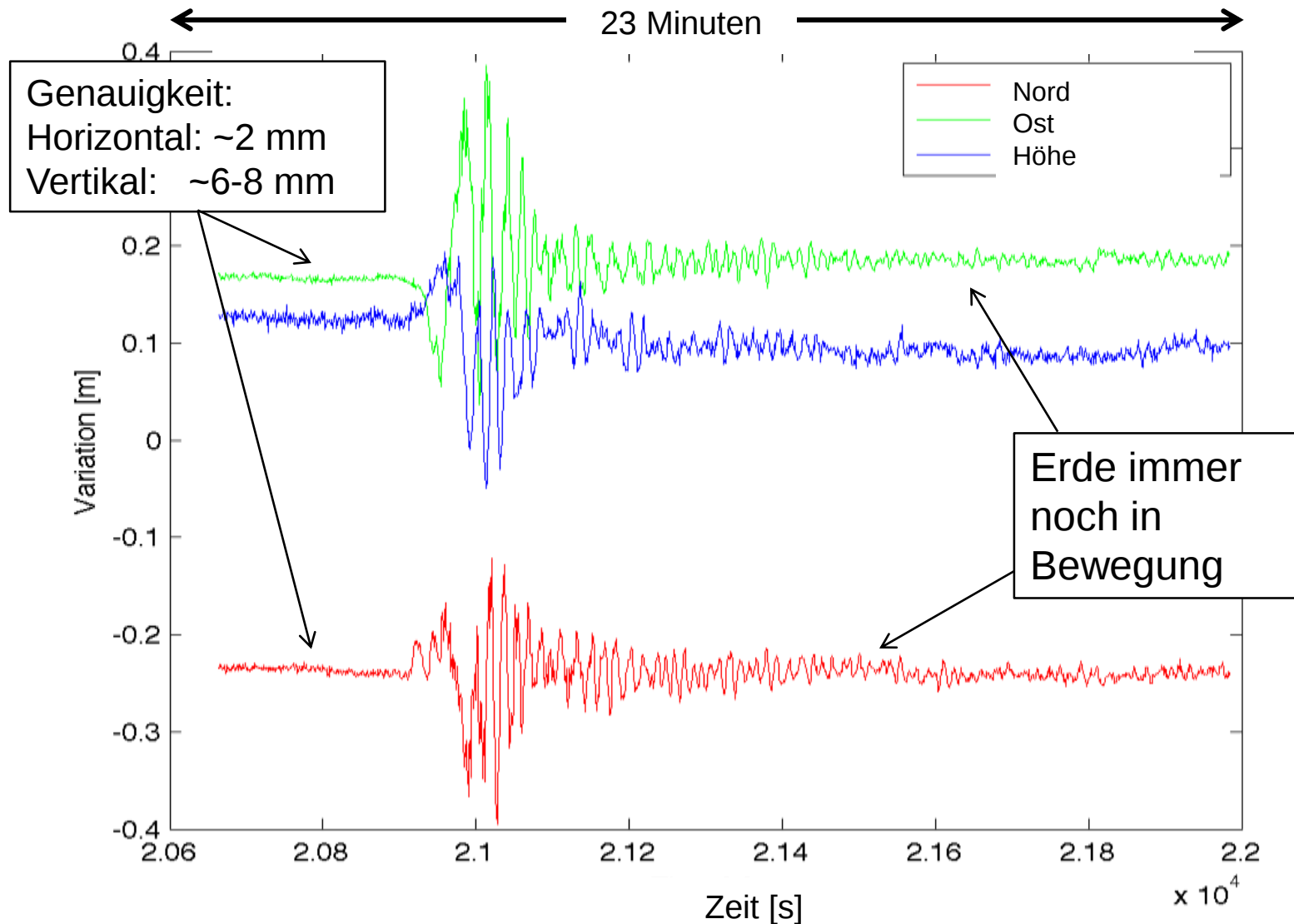
Wichtiger Beitrag von GNSS zur raschen Bestimmung (15 Min) der Erdbebenmagnitude bei grossen Erdbeben

GNSS-Seismologie

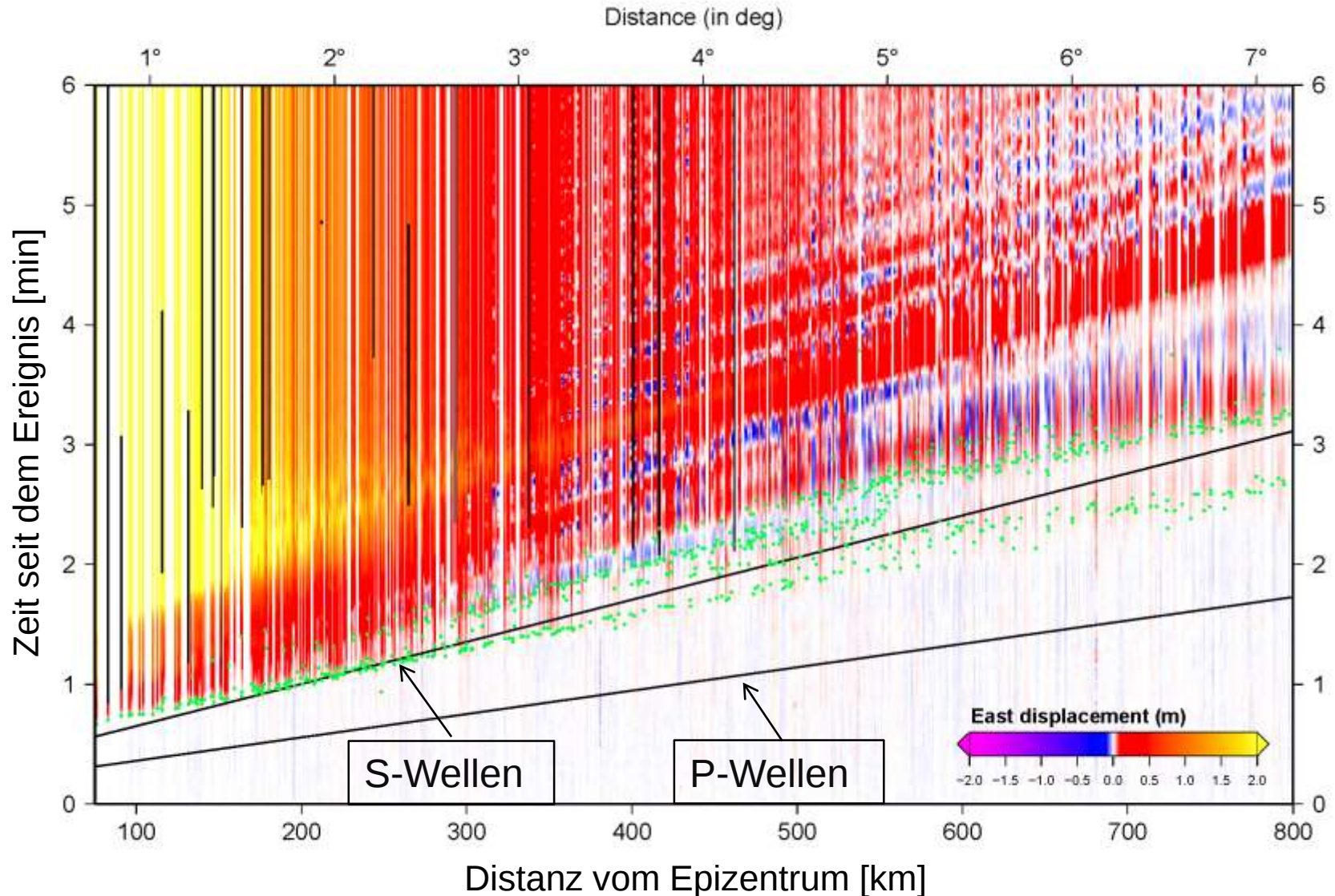
Tohoku-Oki Erdbeben: Erdbebenwellen aus GPS-Daten



Beispiel: GPS bestimmte Erdbeben-Bewegungen

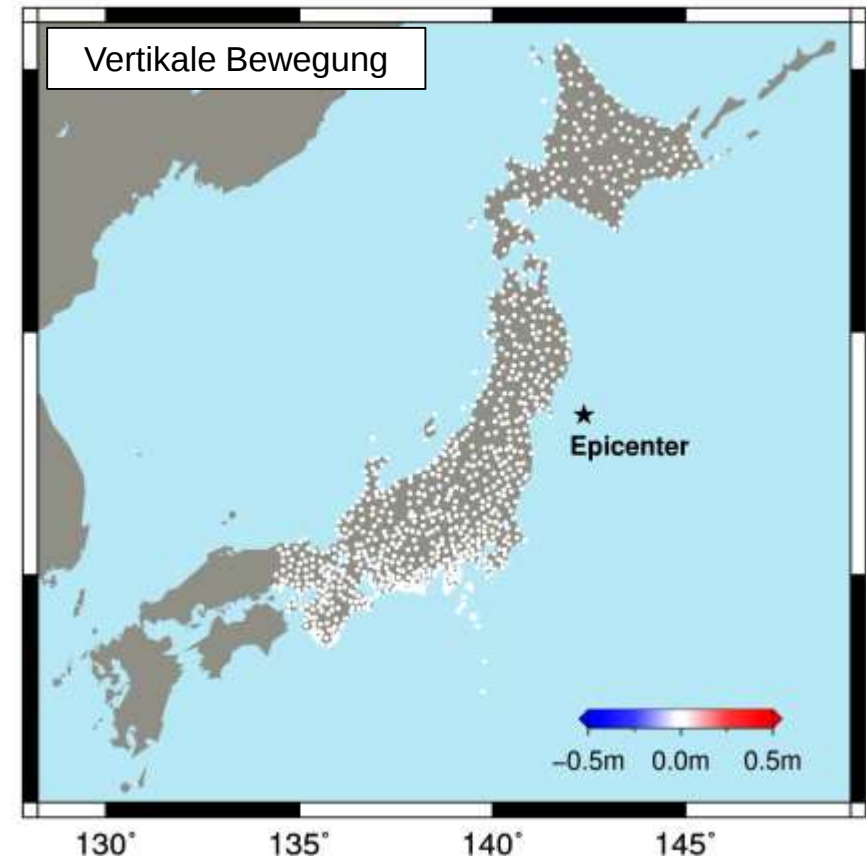
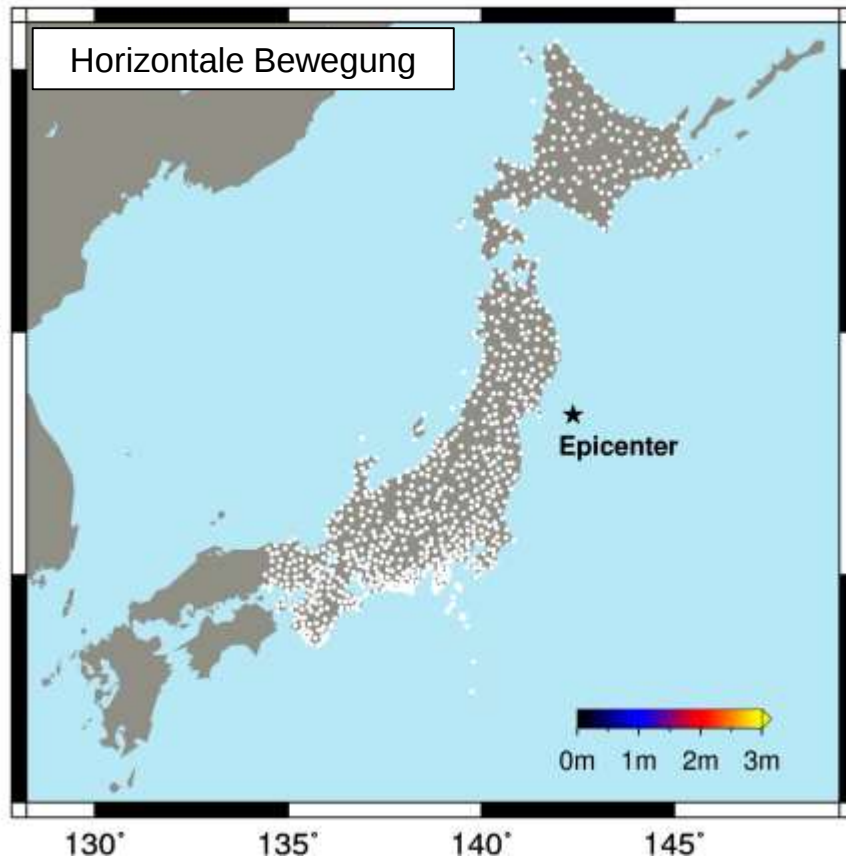


Tohoku-Oki: Verschiebung in Ost-Richtung



Tohoku-Oki: Erdbebenwellen und Verschiebungen mit GPS

Time since earthquake: 00 m 00 s



GPS 1-Sekunden-Messungen des Tohoku-Oki Erdbebens

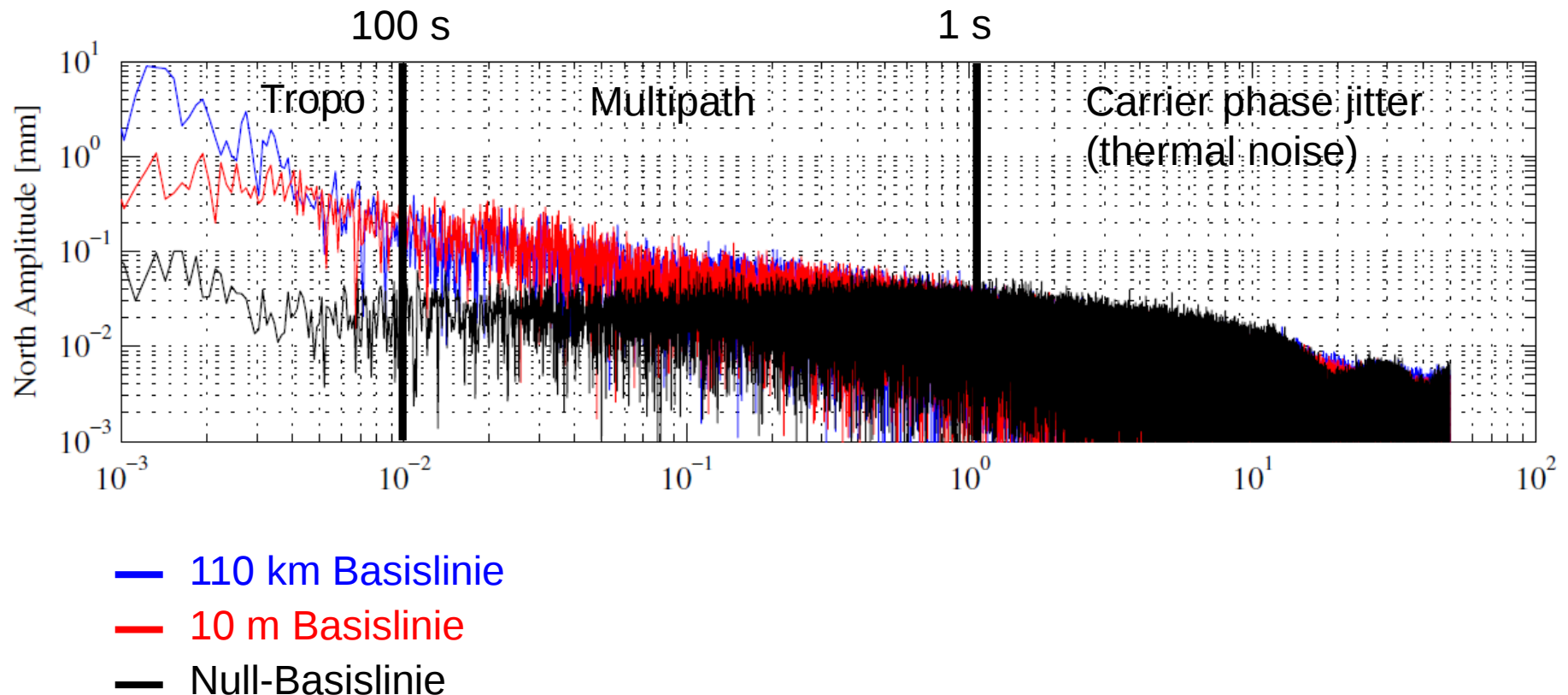
Rütteltischversuche

Validierung GNSS-Seismologie: Rütteltisch-Experiment

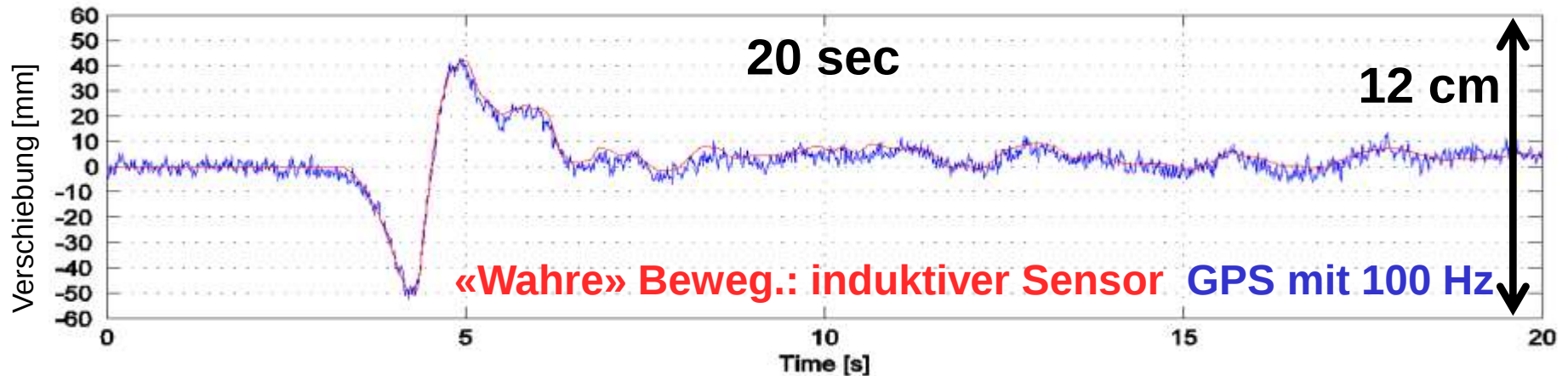


Koordinatenrauschen für kurze/lange Basislinien

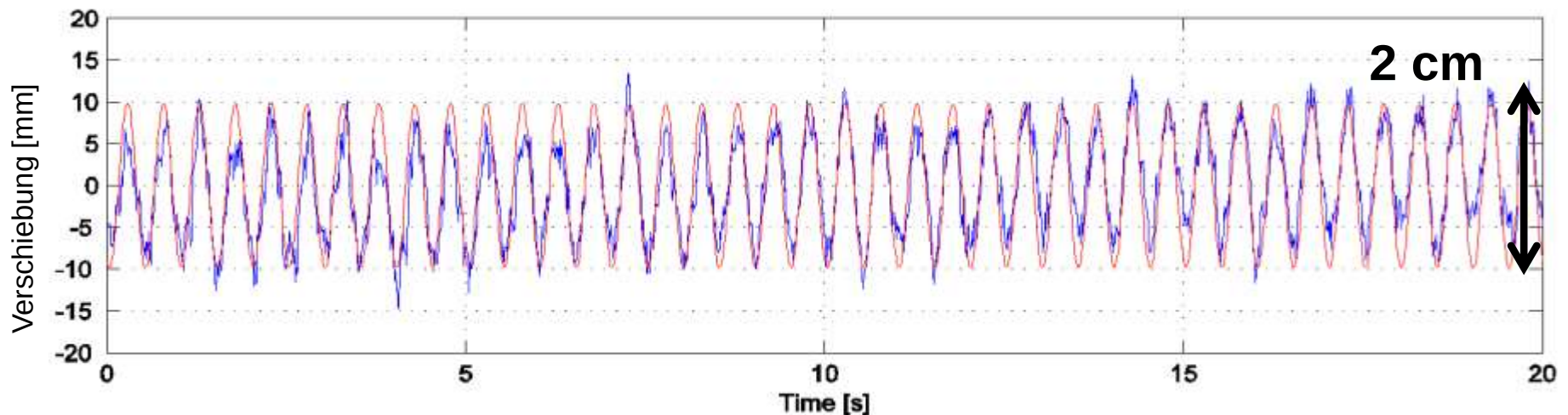
L_c -Koordinaten (Nordkomponente, ionosphären-frei)



Rütteltisch- Resultate: 100 Hz Messungen



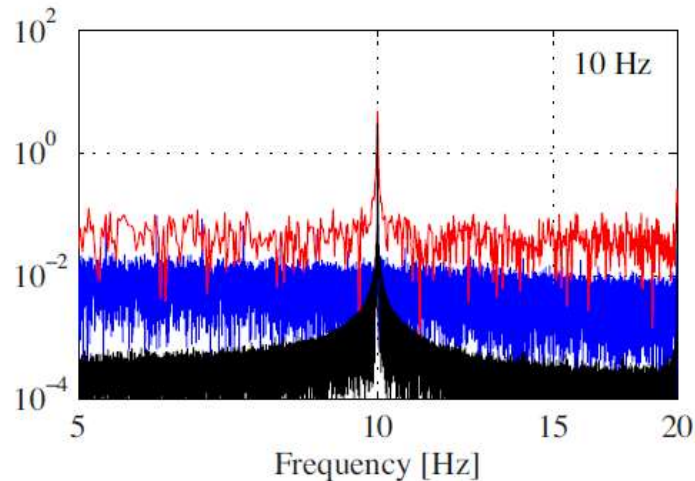
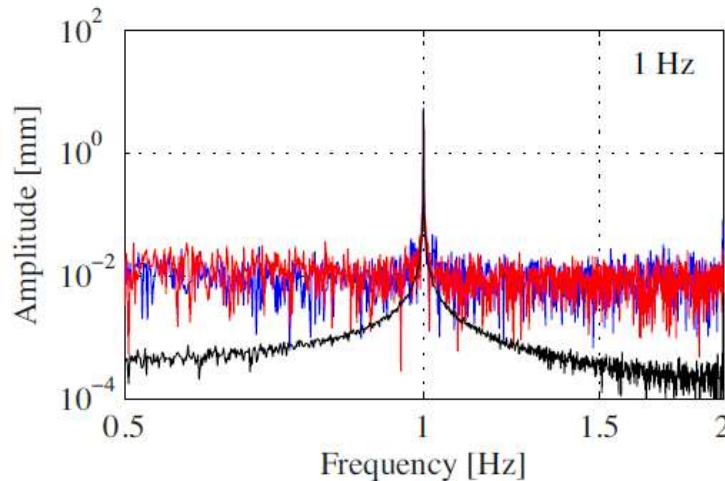
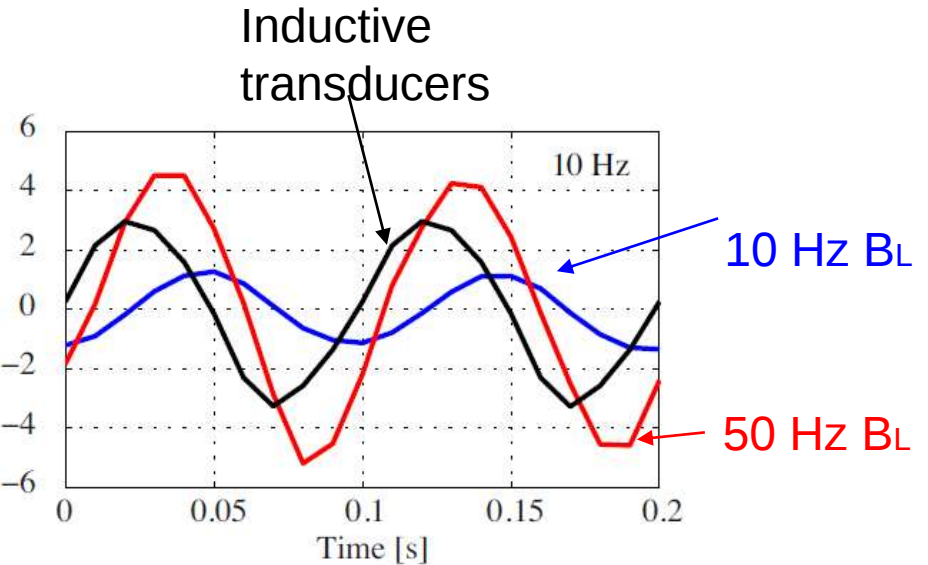
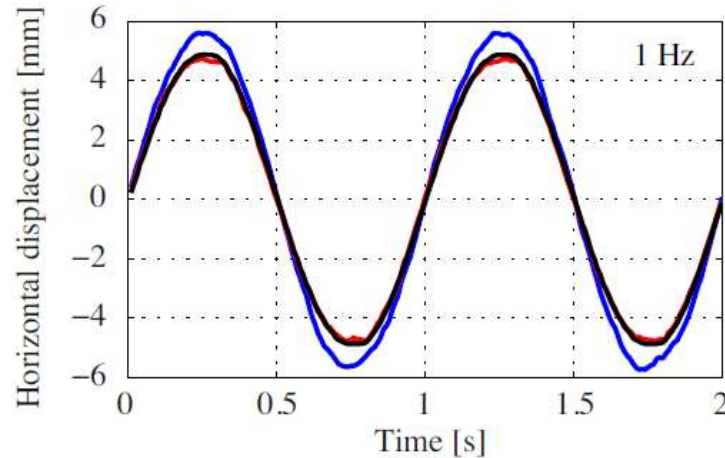
Realistisches Erdbeben, M = 6.0, in der Schweiz



Schwingung mit 2 Hz, 1 cm Amplitude

→ mit Seismologen

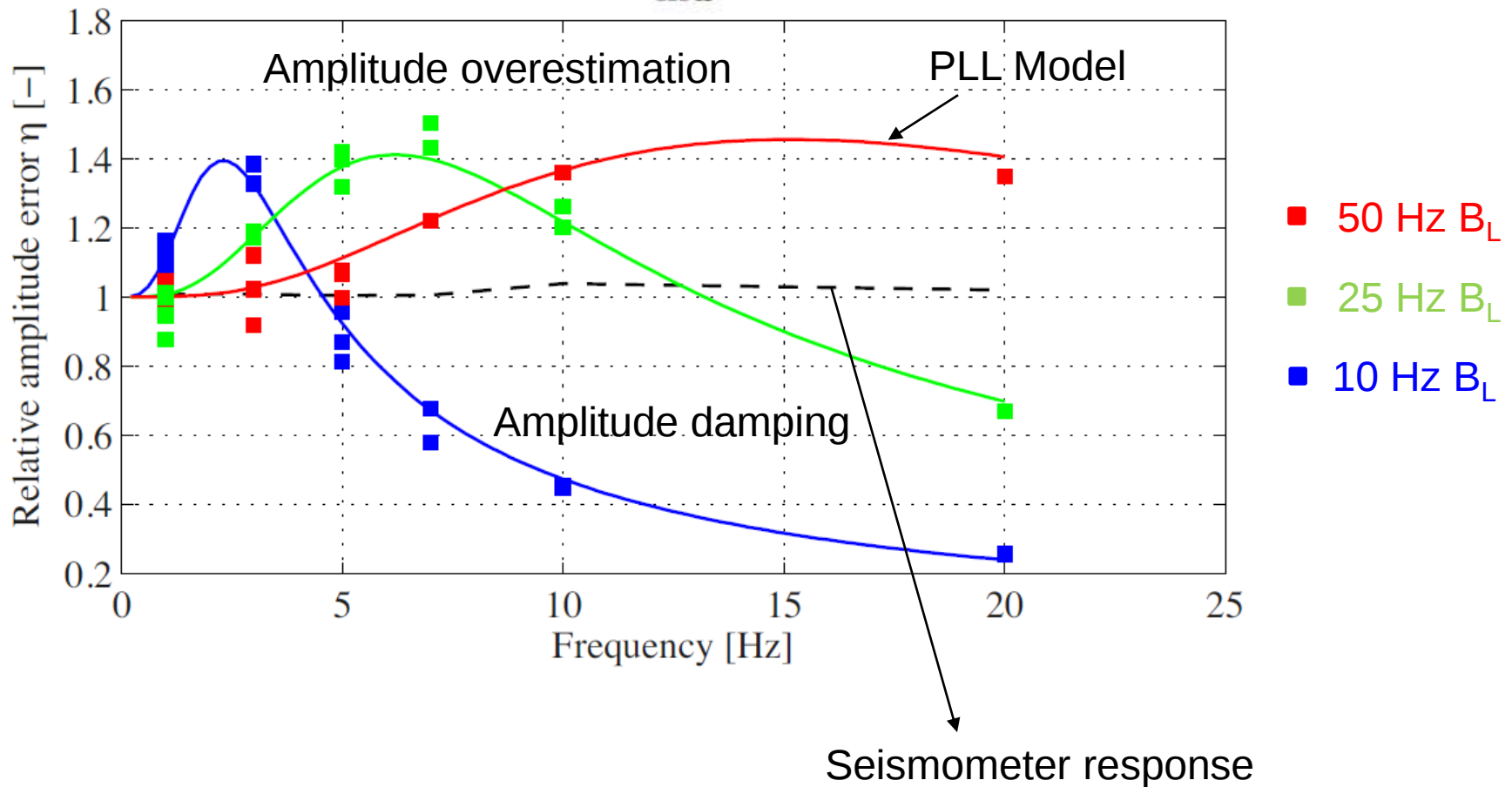
Simulierte Sinusschwingungen: Bandweite der Tracking Loops



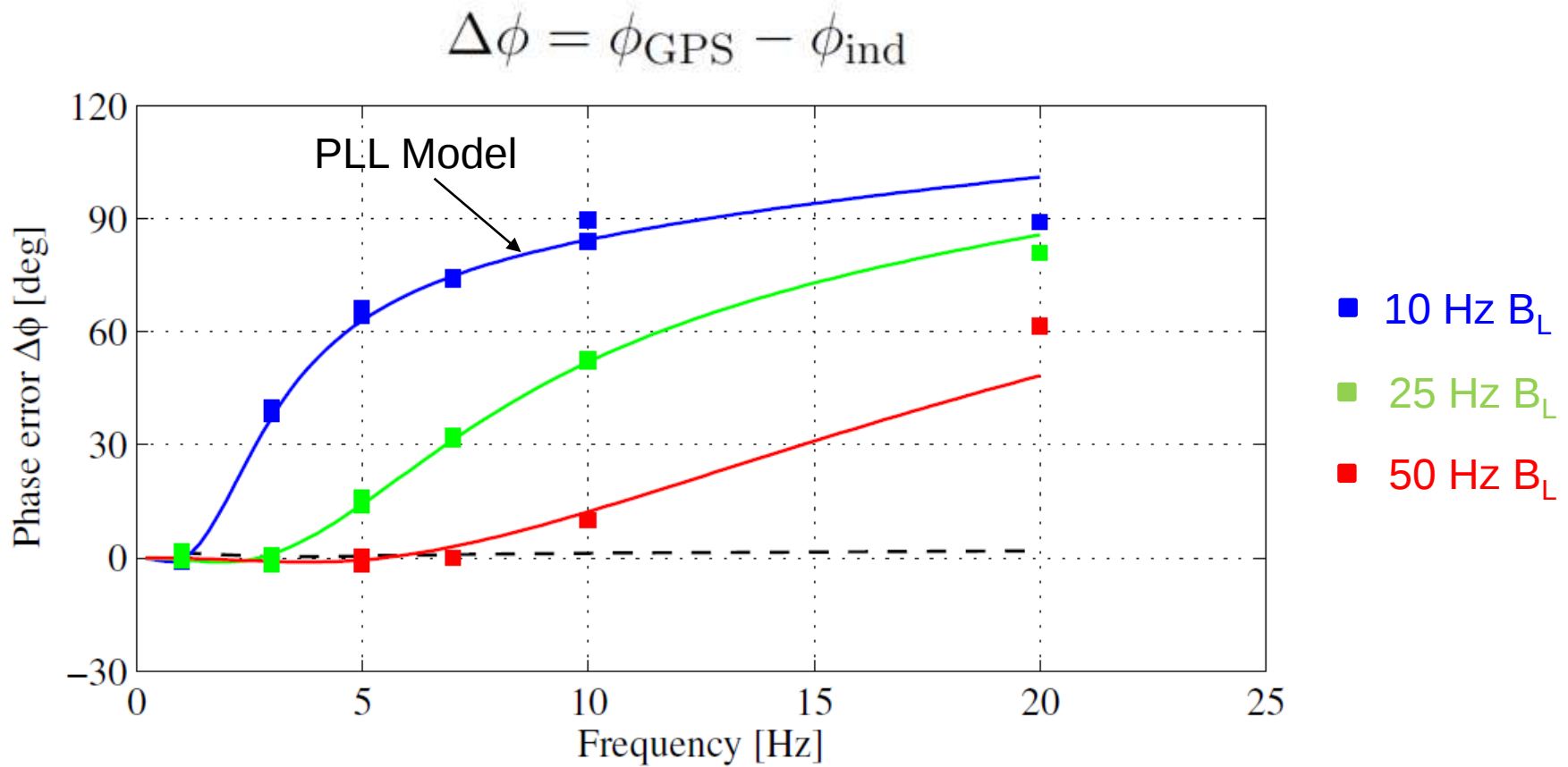
→ no frequency shifts

CA/L1: Empfänger-Reaktion - Signalamplitude

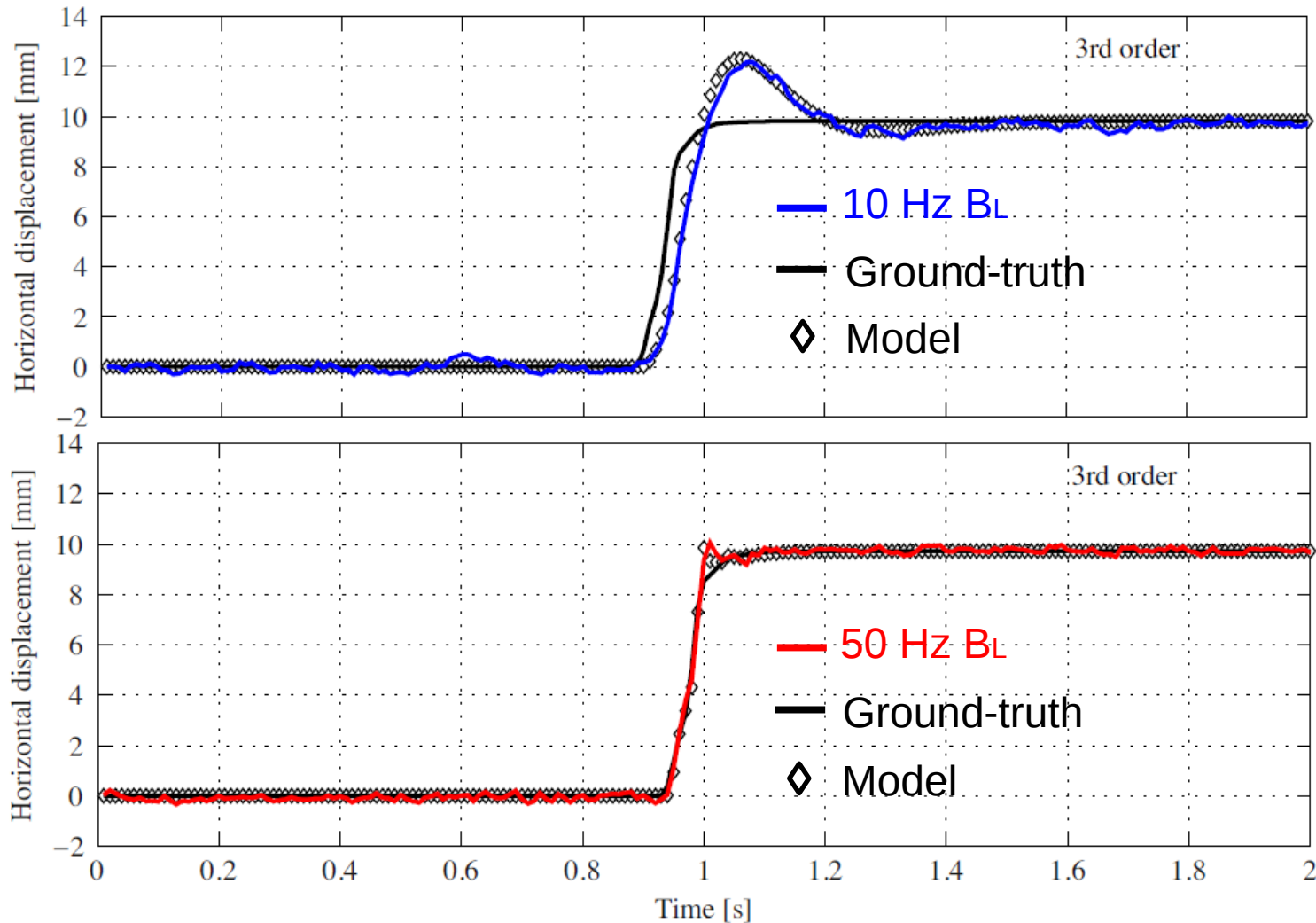
$$\eta = \frac{A_{\text{GPS}}}{A_{\text{ind}}}$$



CA/L1: Empfänger-Reaktion - Signalphase

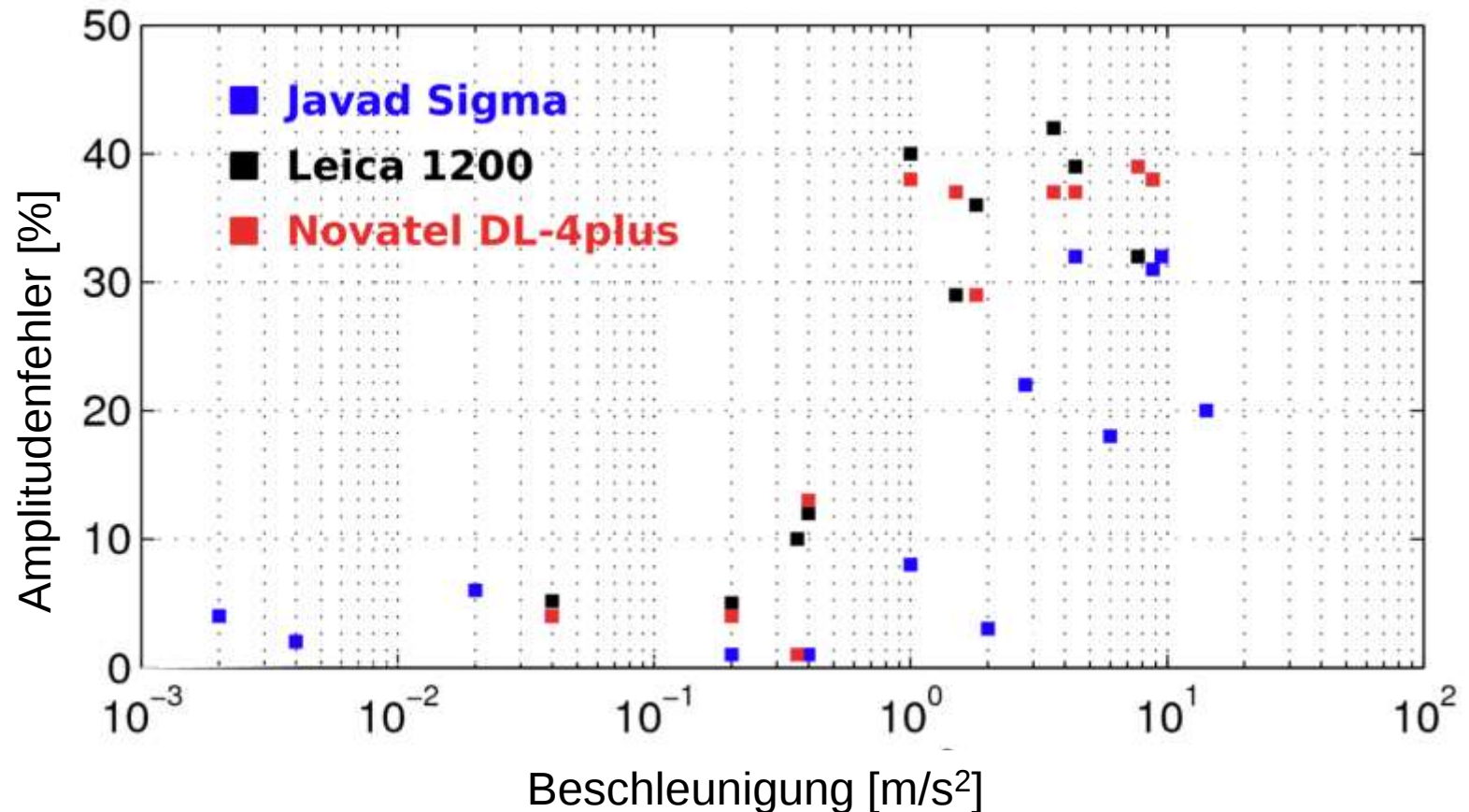


Modell-Validierung – Transient Response



Sind GNSS-Empfänger für alle Zwecke geeignet ?

Rütteltischresultate: Amplituden bei Sinusschwingungen

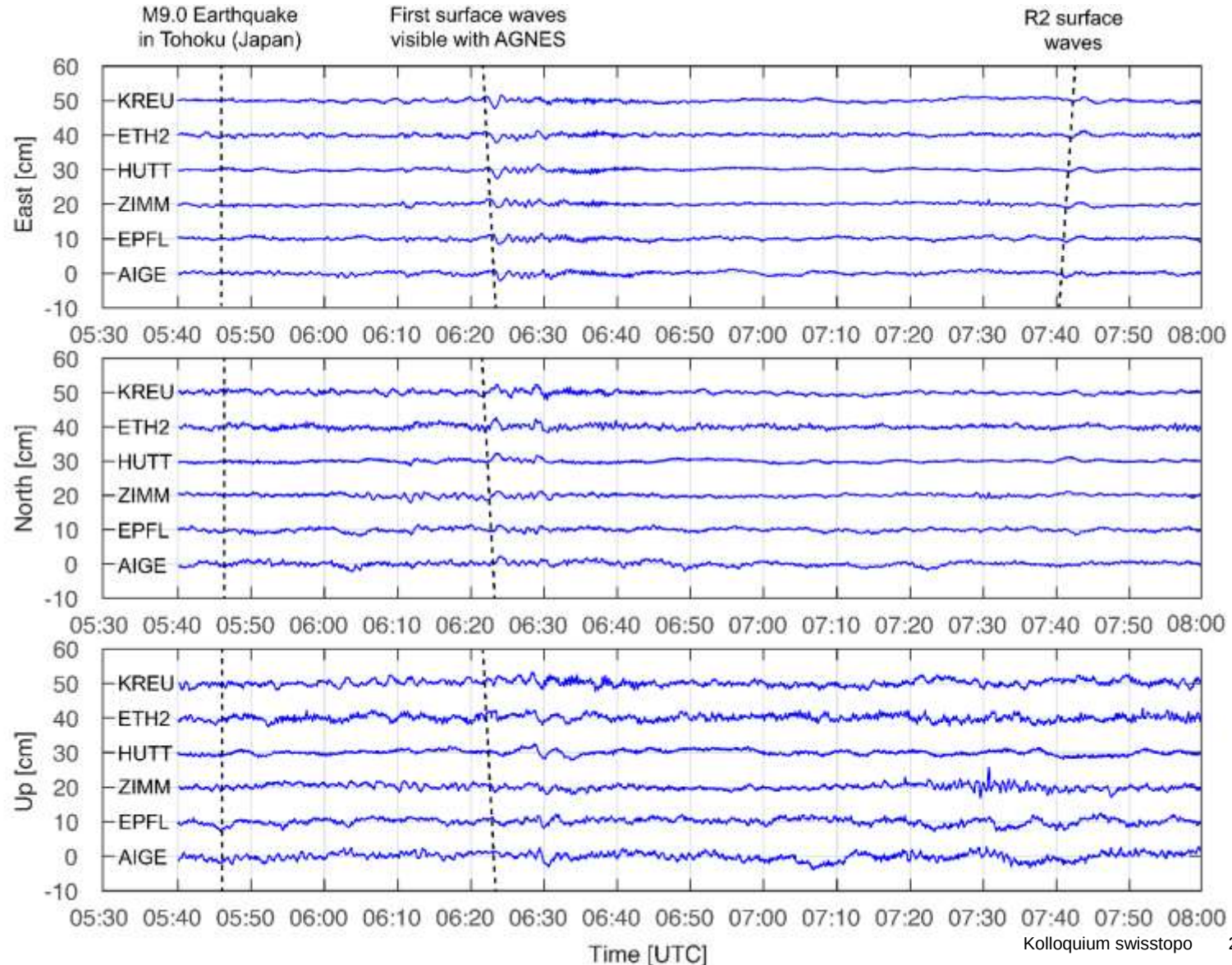


Bedeutende Amplitudenfehler für alle Empfängertypen

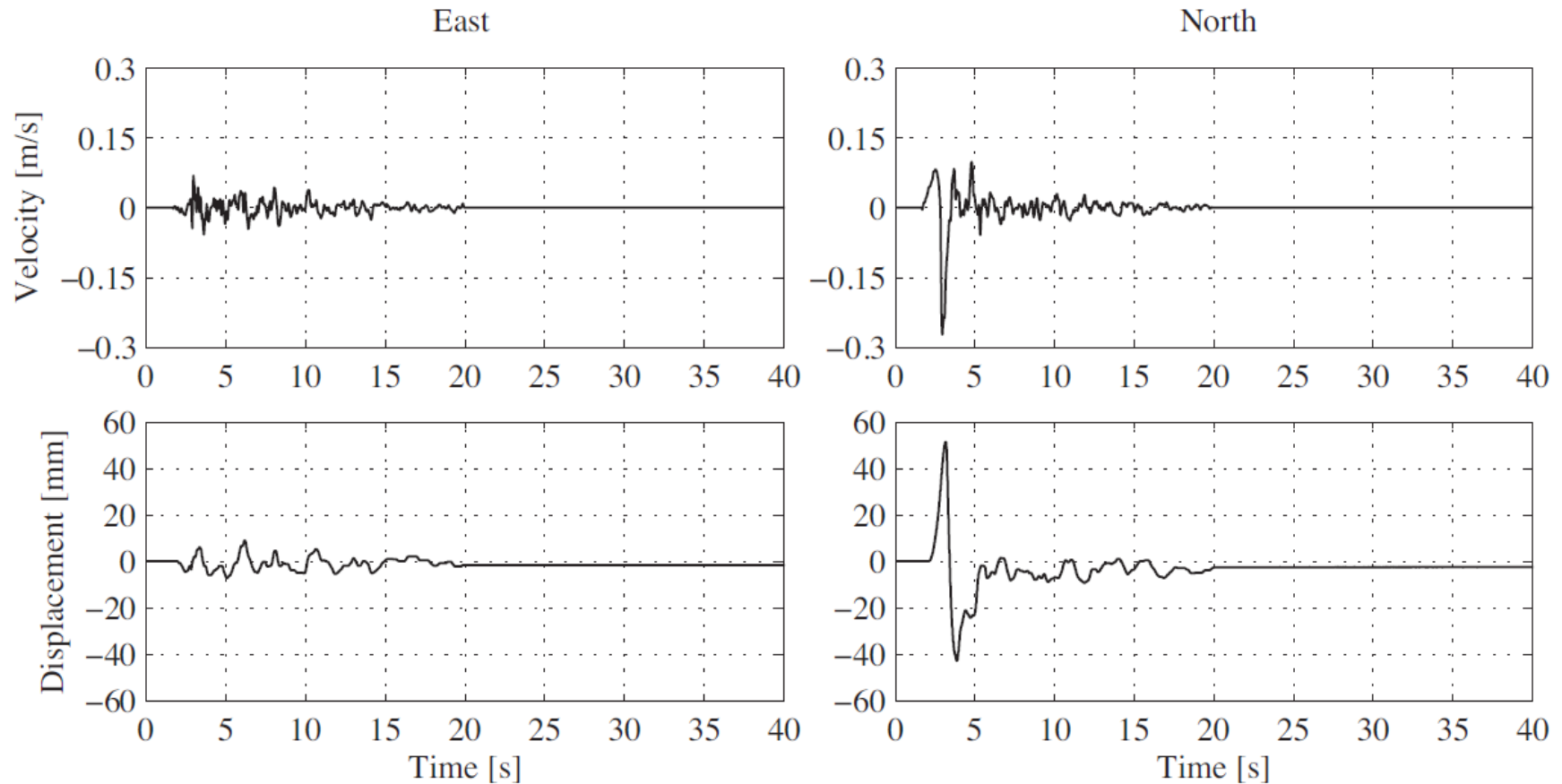
→ GNSS-Empfänger speziell einstellen (tracking loops)

Erdbeben in der Schweiz

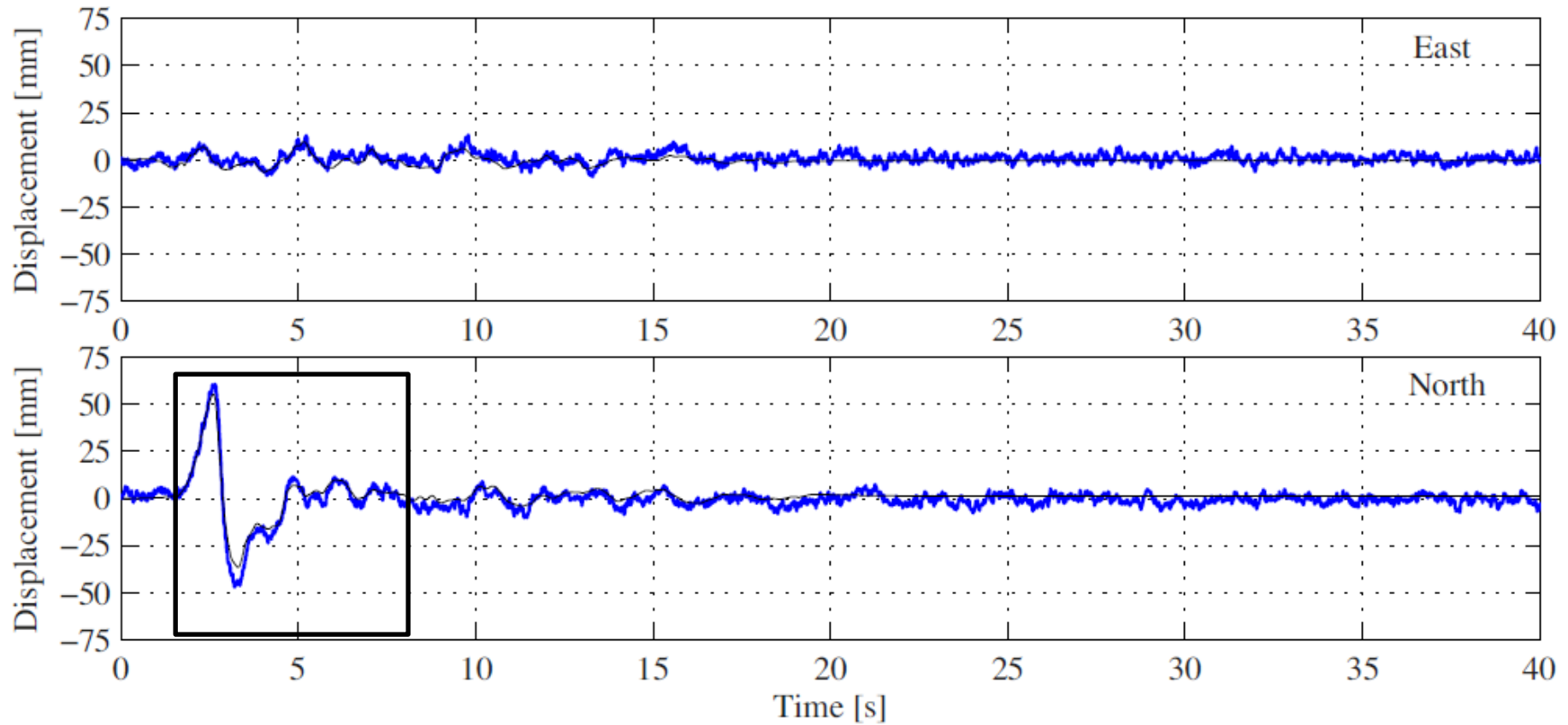
Tohoku-Oki Erdbeben in der Schweiz (GPS)



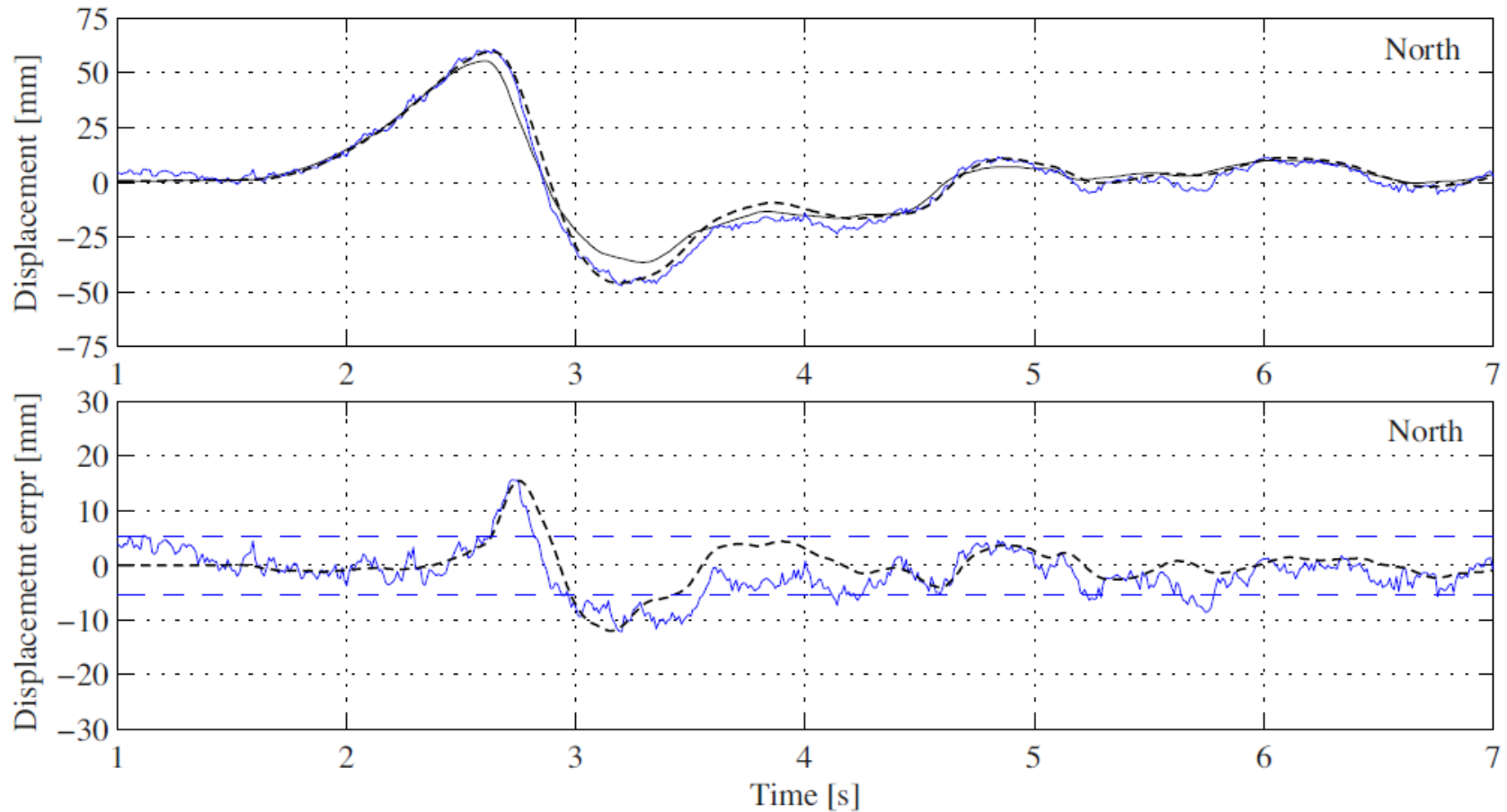
Synthetisches M5.0 Erdbeben in der Schweiz



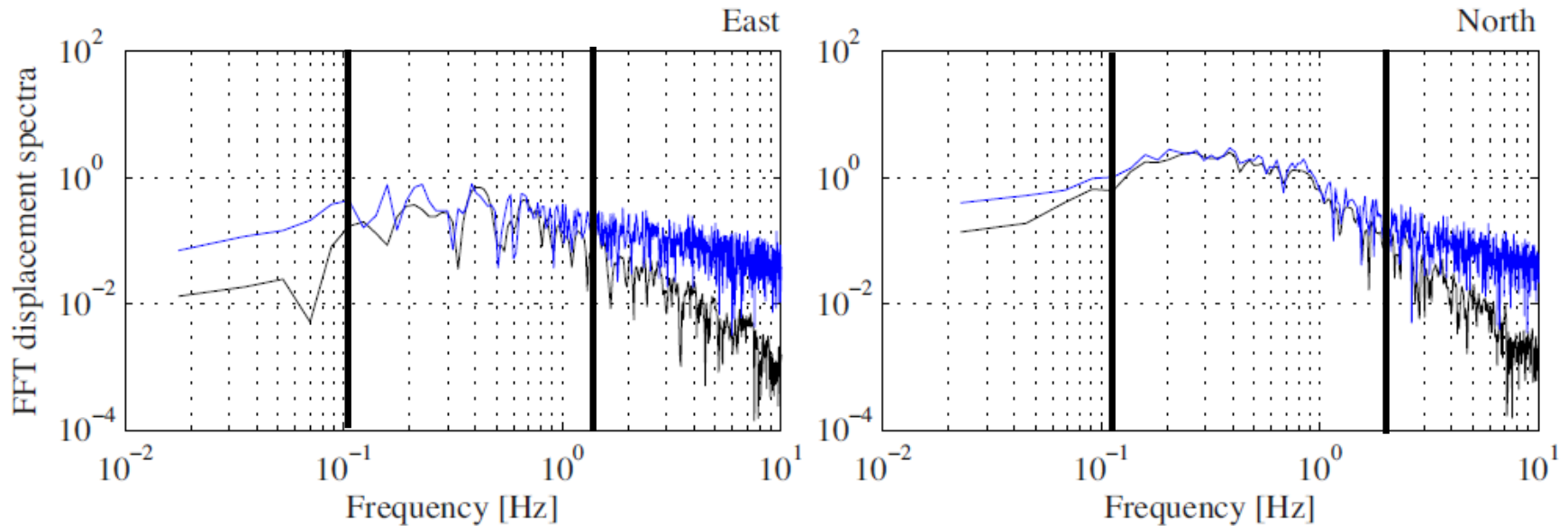
GPS-Resultate: Zeitserie der Koordinaten



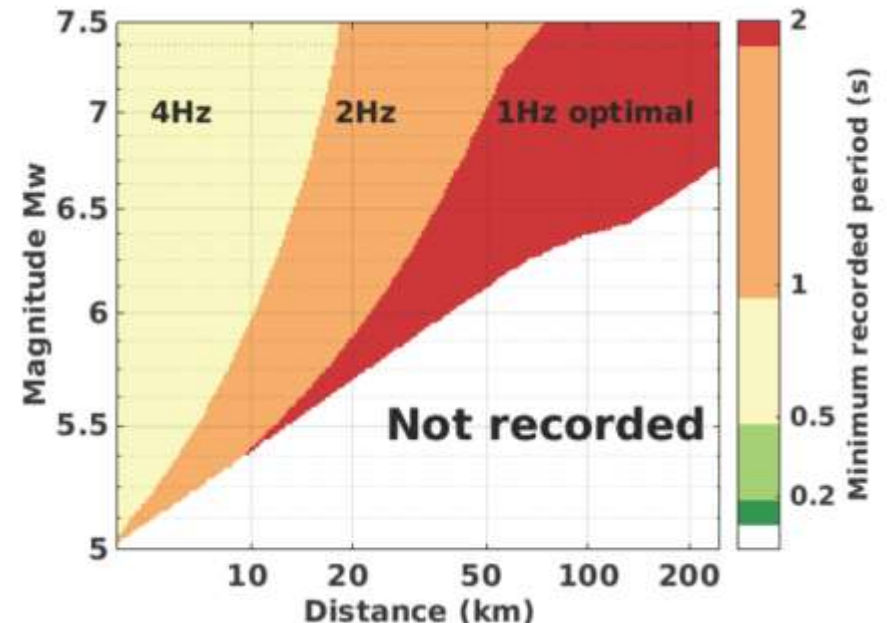
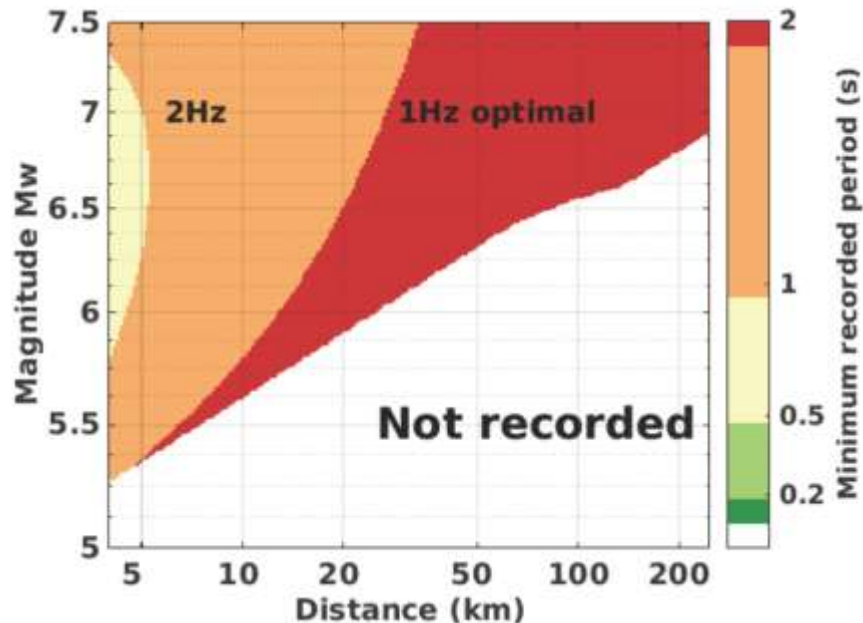
GPS-Resultate: Zeitserie der Koordinaten (Zoom)



GPS-Resultate: Frequenzspektrum



Erfassung kleinerer Erdbeben mit GNSS in der Schweiz

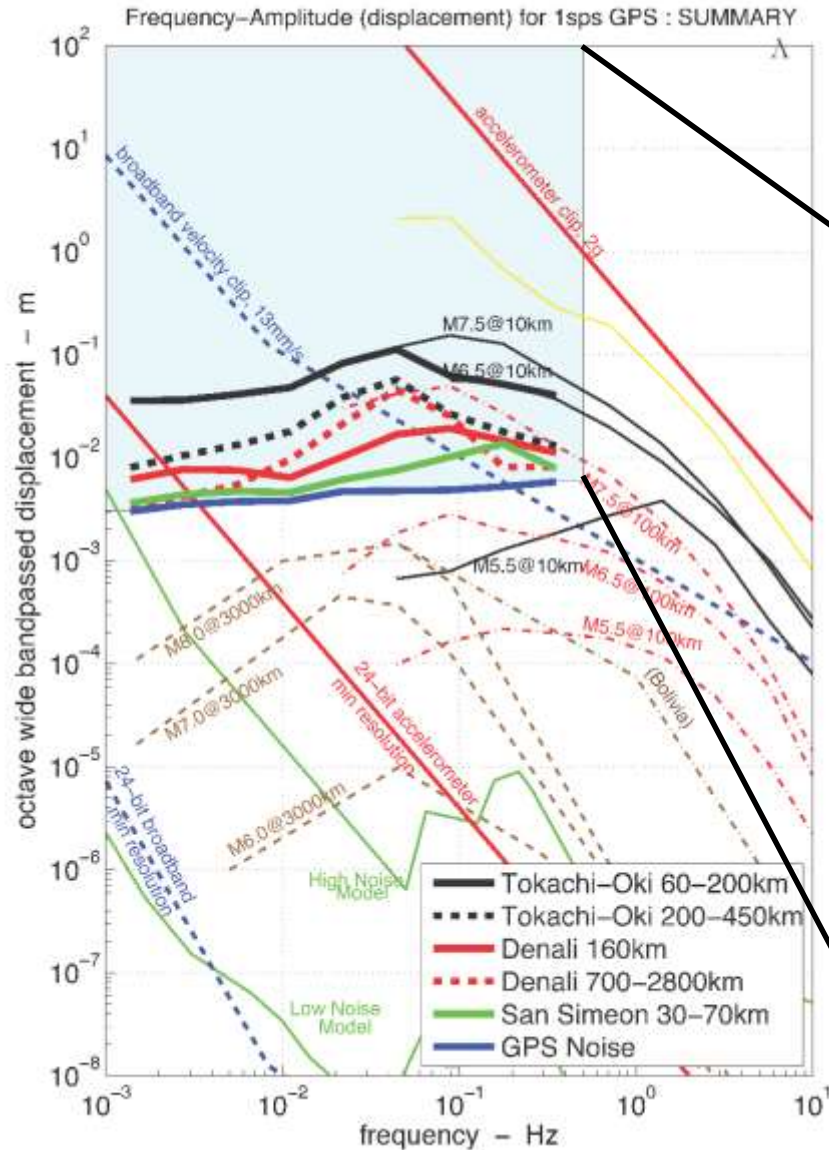


(Michel et al., 2016)

GPS in Real-Time

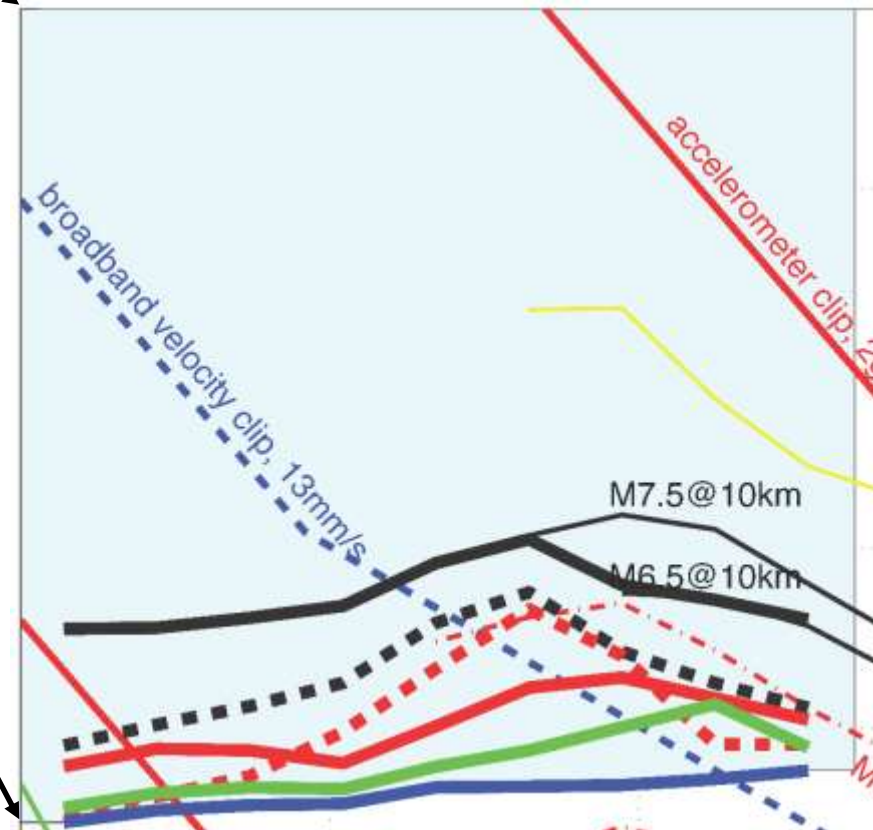
GPS im Post-Processing

Erfassung kleinerer Erdbeben mit GNSS



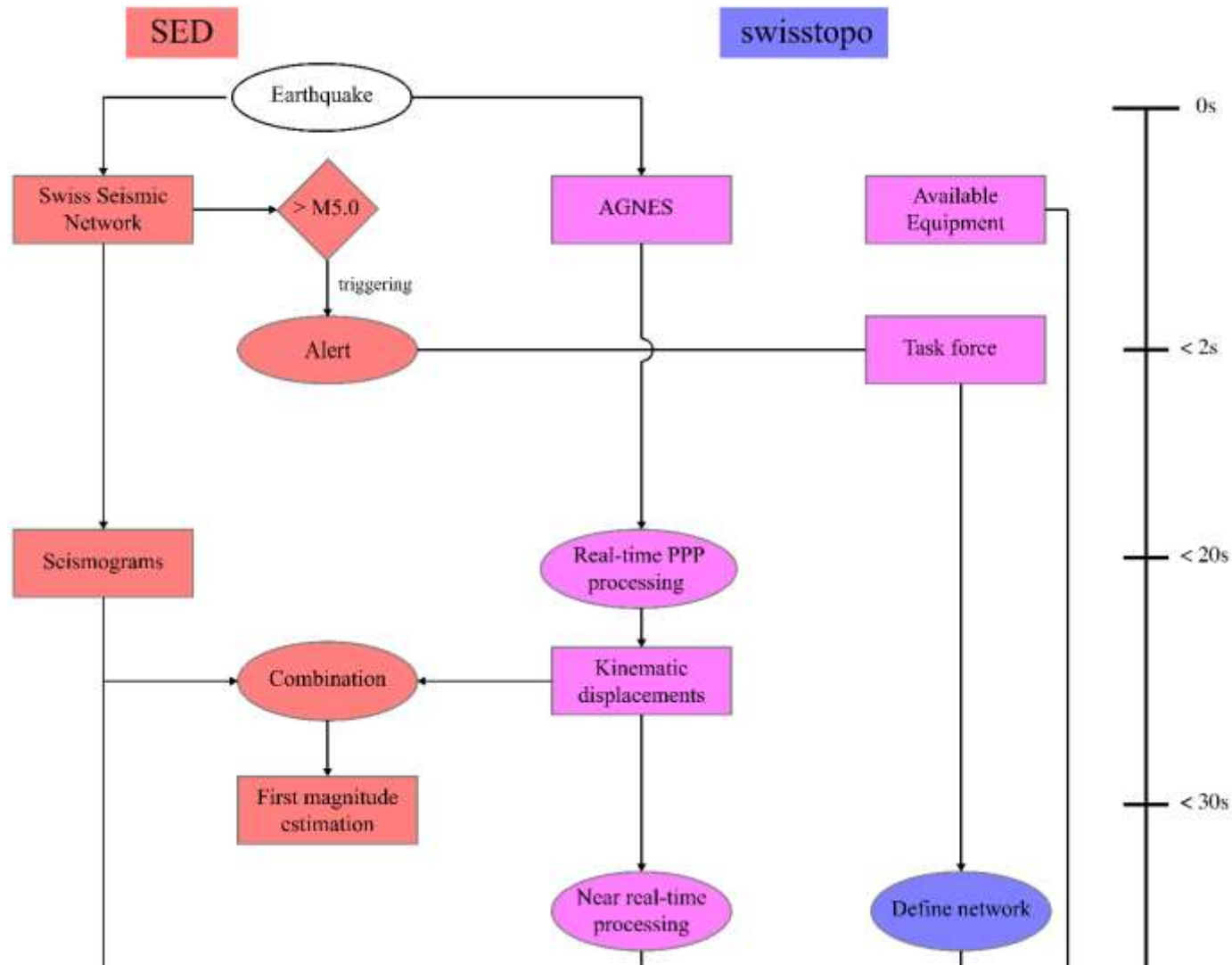
Verschiebung abhängig von Frequenz,
Magnitude, Distanz vom Epizentrum

(Clinton et al., 2007)

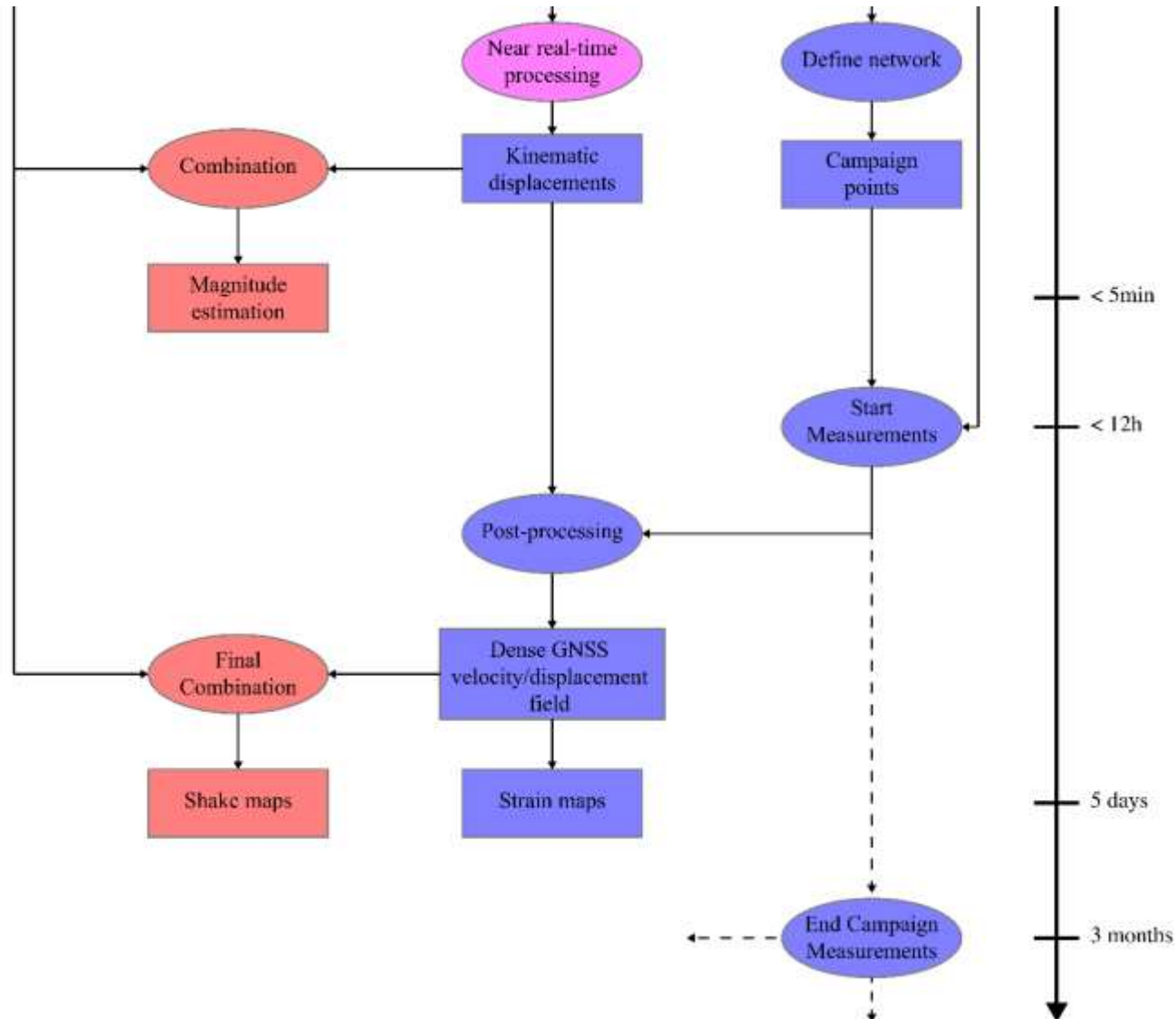


Zukünftige Entwicklungen

Einbindung von GNSS in die Erdbebenwarnung



Einbindung von GNSS in die Erdbebenwarnung



Schlussfolgerungen

- Die GNSS-Geschwindigkeiten im LV95-Netz können erfolgreich für die Berechnung der Spannungen (strain rates) in der Schweiz verwendet werden
- GNSS-Verschiebungen können zur Bestimmung der Erdbebencharakteristika herangezogen werden (insbesondere bei grossen Erdbeben)
- GNSS-Seismologie eröffnet die Möglichkeit, die Erdbebenbewegungen direkt zu messen.
- Tracking Loops des GNSS-Empfängers wichtig
- Bestrebungen in der Schweiz, GNSS-Zeitreihen als Information für grössere Erdbeben zu nutzen



Danke für die Aufmerksamkeit !