



# Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

## Automatisierte Detektion von Bodenbewegungs-Hot Spots und Zeitreihenanalysen für das Bundesland Hessen

**Benjamin Homuth, Katrin Krzepek, Michael Rudolf, Dorota  
Iwaszczuk, Andreas Henk**



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



digitales.hessen  
WO ZUKUNFT ZUHAUSE IST



Für eine lebenswerte Zukunft

# Einführung - Motivation

Feststellung von großräumigen Bodenbewegungen und dazugehöriger Ursachenforschung

Betroffene Regionen ausfindig machen durch Auswertung von Fernerkundungsdaten

Zusammenführung verschiedener Datenquellen (Radar (BBD)), Laserscan (HVBG), Topografie (HVBG), Geologie (HLNUG), Hydrologie (HLNUG), etc.)

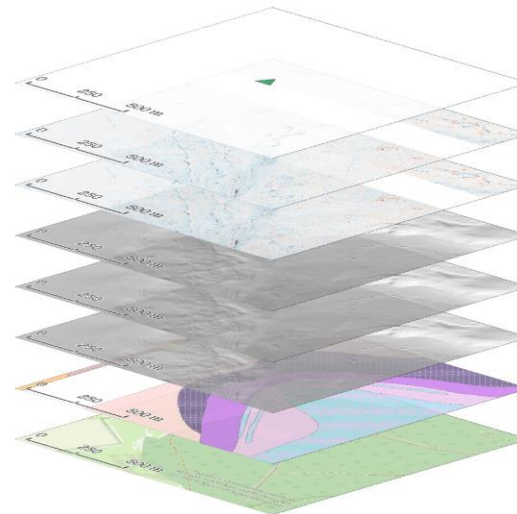
Öffentliche Bereitstellung



Ein Albtraum für Hausbesitzer: Mitten in der Außenwand klappt plötzlich ein Spalt. Bei der Suche nach Ursachen im stark betroffenen Offenbach gibt es durchaus verschiedene Meinungen. Fest steht nur: Das Klima spielt eine Rolle.

Von Marcel Sawieser

- ORTE
- Baden-Hausen
  - Frankfurt
  - Kassel
  - Offenbach
  - Schwabenstadt



# Einführung - Motivation

## Detektion und Analyse von großflächigen Bewegungsmustern aus Fernerkundungsdaten (Radar- und Laserscandaten)

### BBD-Daten

- Sentinel-1 Daten
- Persistent Scatterer Interferometrie (PSI)

### PS

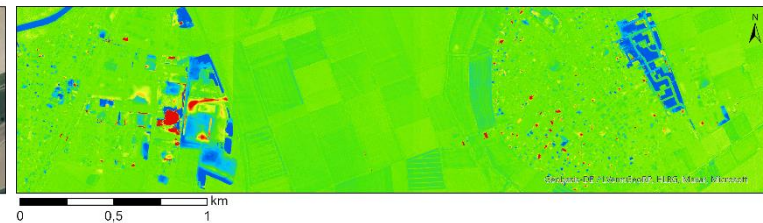
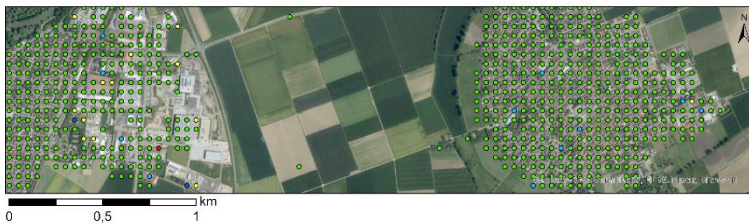
- Punktdaten + Zeitreihen
- 50 m Abstand, heterogen verteilt
- 2015 - 2022 (ca. alle 6 Tage)

### Digitale Geländemodelle (DGM)

- Flugzeuggetragenes Laserscanning

### Differenzkarten

- $Diff = DGM_{2.Epoche} - DGM_{1.Epoche}$ 
  - 1. Epoche: 2007-2014
  - 2. Epoche: 2015-2021
- 1 m Raster



# Einführung - Motivation



Umwelt 4.0 – Cluster I:  
Nutzung digitaler Geländemodelle und Copernicus-Daten

Projektpartner:  
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie



Technische Universität Darmstadt



Fachgebiet Fernerkundung und Bildanalyse



Fachgebiet Ingenieurgeologie



Unterstützung durch Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation

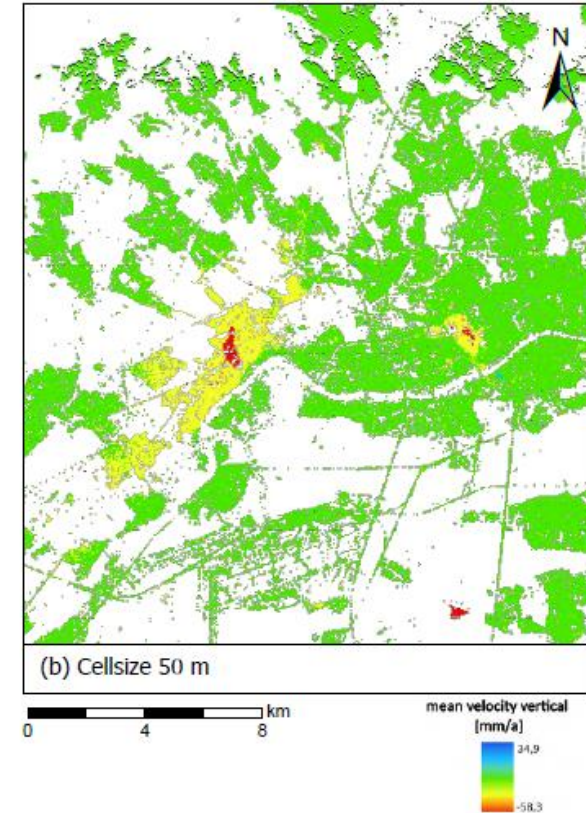
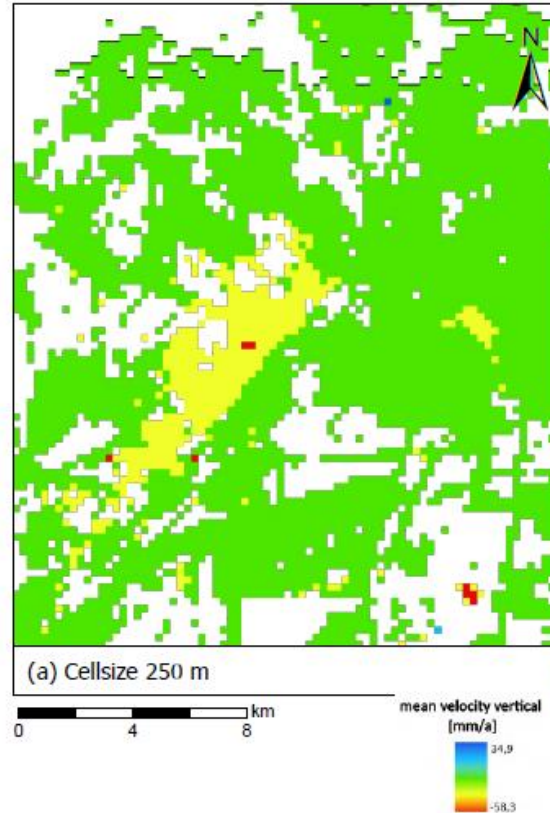
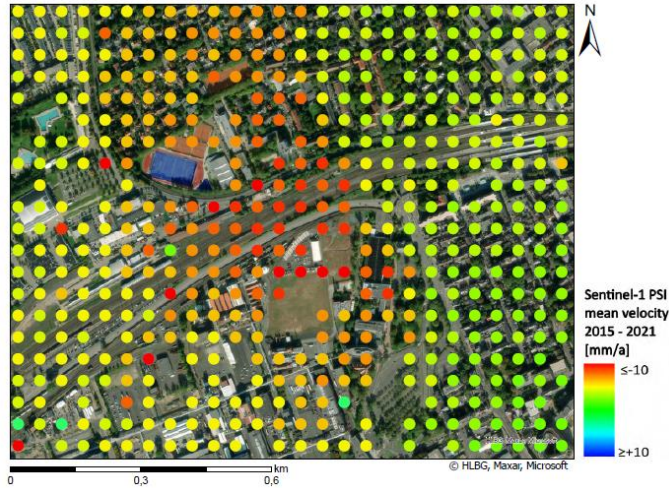
Laufzeit: 01.05.2022 – 31.12.2024

Finanzierung:  
Hessische Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung



# Visualisierung der Radardaten

Von der Punkt- zur Rasterdarstellung



Verschiedene Rastergrößen wählbar, mit adaptiven Zoomstufen

# Visualisierung der Radardaten

## Zeitscheiben (zeitliche Entwicklung)





# Hot-Spot Detektion

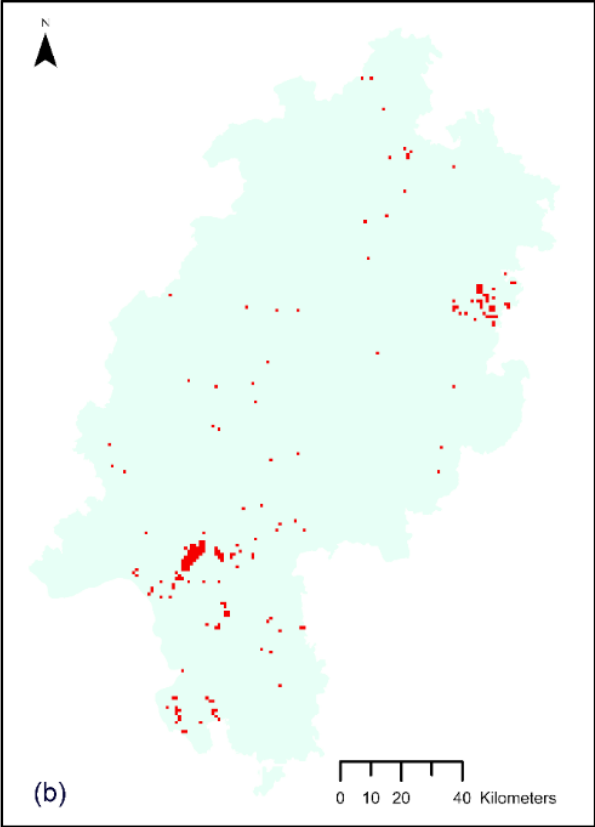
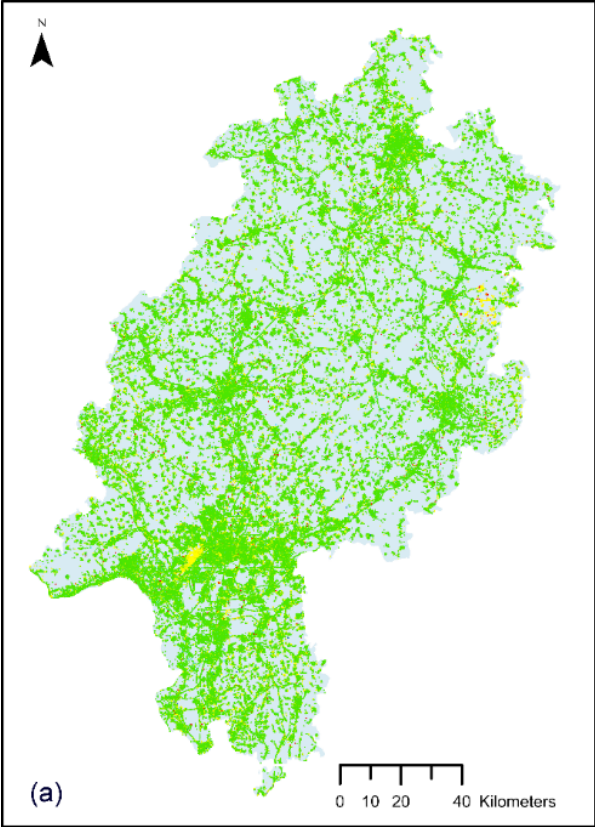
Automatisierte Detektion großflächiger Bodenbewegungsmuster – Ground Motion Analyser (GMA)

- Wo zeigen viele Persistent Scatterer (PS) eine Hebung/Setzung an?
- Wo zeigen die PS eine starke Hebung/Setzung an?



# Hot-Spot Detektion

## Ground Motion Analyser Ergebnisse für das Bundesland Hessen



- State of Hessen
- Ground Deformation Hot Spots

Mean Velocity Vertical  
[mm/a]

- min - -10
- > -10 - -2
- > -2 - 2
- > 2 - 10
- > 10 - max



Für eine lebenswerte Zukunft

# Zeitreihenanalyse

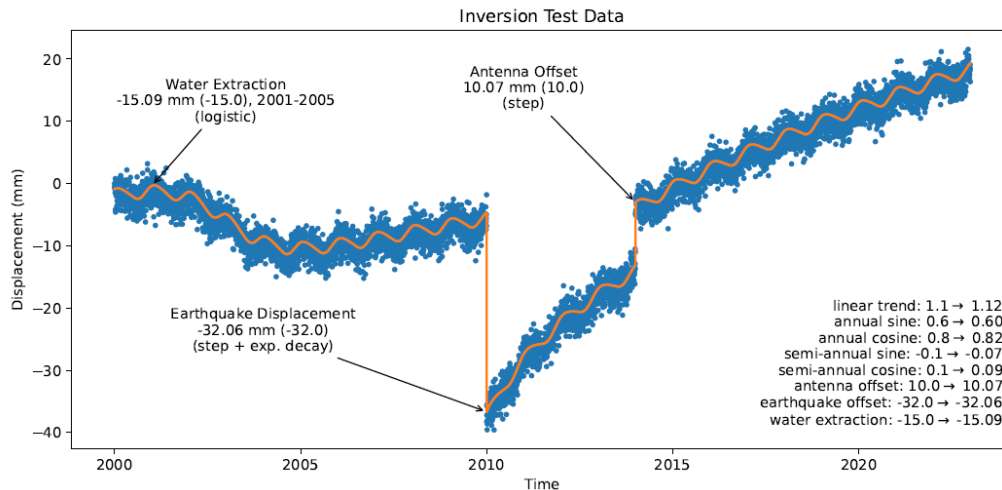
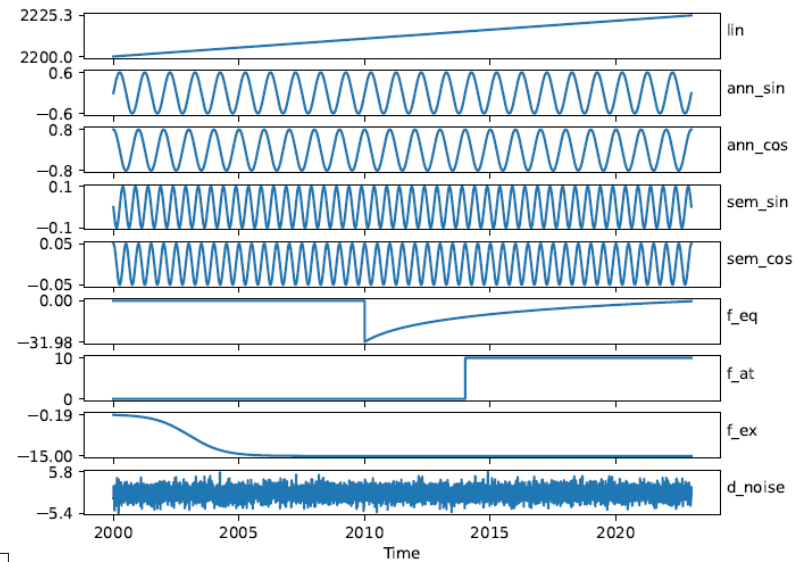


Die gemessenen Bodenbewegungen  $d$  sind eine lineare Kombination aus verschiedenen Green's Funktionen  $G$  und Modellparametern  $m$ :

$$d = G \cdot m$$

Die Modellparameter werden aus den Messwerten berechnet:

$$m = (G' \cdot G)^{-1} \cdot G' \cdot d$$



Allgemeines Beispiel



# Zeitreihenanalyse



Ablauf der Zeitreihenanalyse:

Alle Messpunkte werden in einer großen Matrix  $d$  zusammengefasst.

- Jede Komponente einzeln.
- Gleichzeitige Inversion aller Komponenten.
- Für bestimmte Parameter müssen Zeitpunkte (Erdbeben, Antennenverschiebung) oder Zeiträume (Wasserentnahme) angegeben werden.

Zwei Iterationen mit Entfernung von Ausreißern ( $> 2\sigma$ ) als Zwischenschritt.

Darstellung als Komponente (Berechnungsdauer für gesamten Datensatz: 5 min für 2.5 km Raster, 60 min für 50 m Raster.)



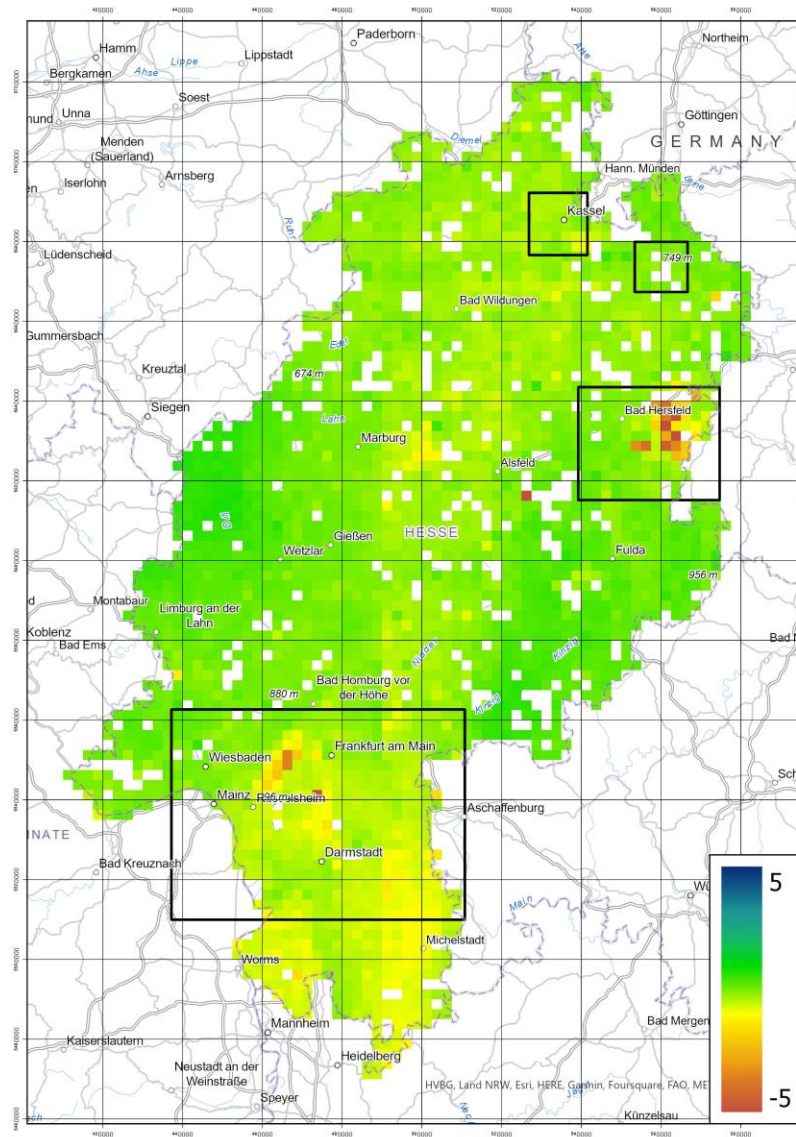
Für eine lebenswerte Zukunft

# Zeitreihenanalyse

HESSEN



±5 mm Linear



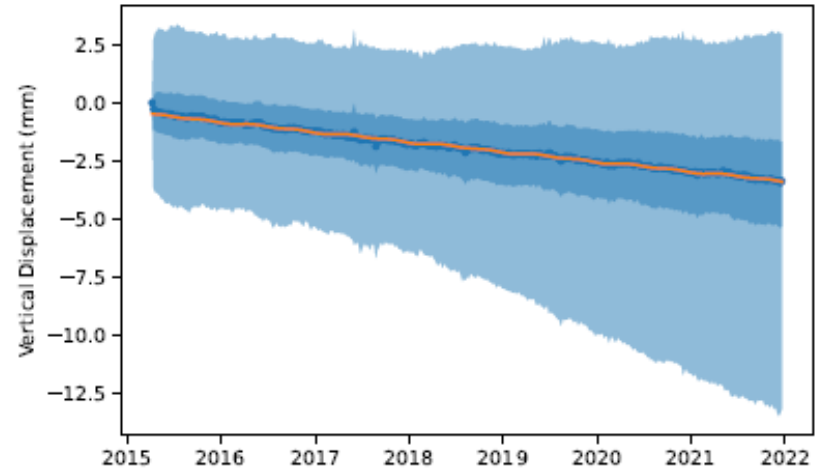
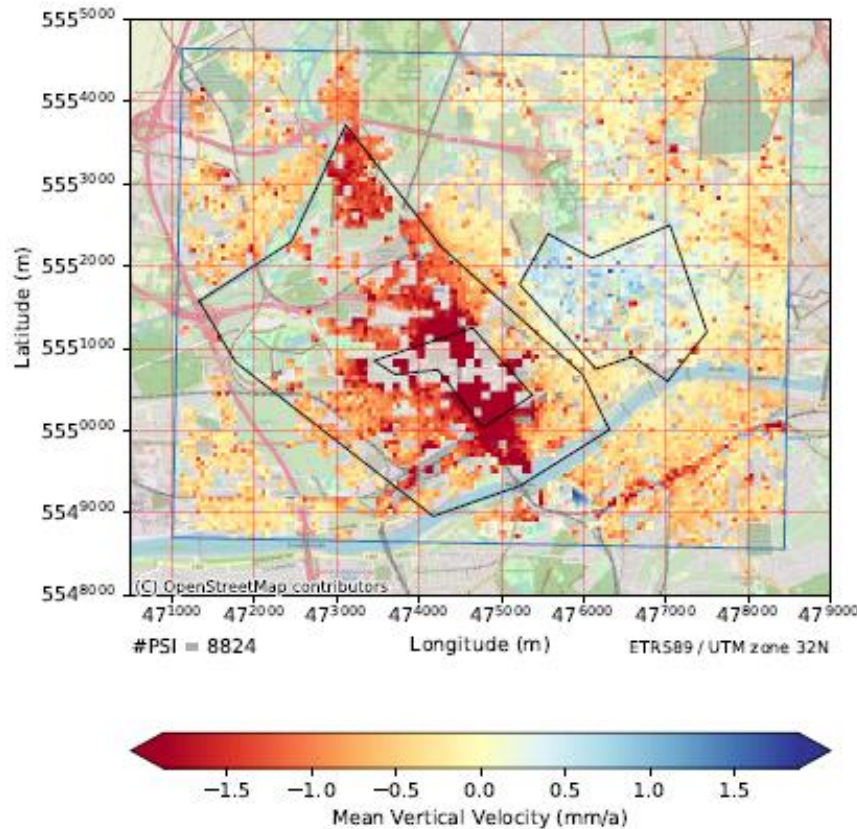
2,5 km  
Raster,

Vertikale  
Richtung



Für eine lebenswerte Zukunft

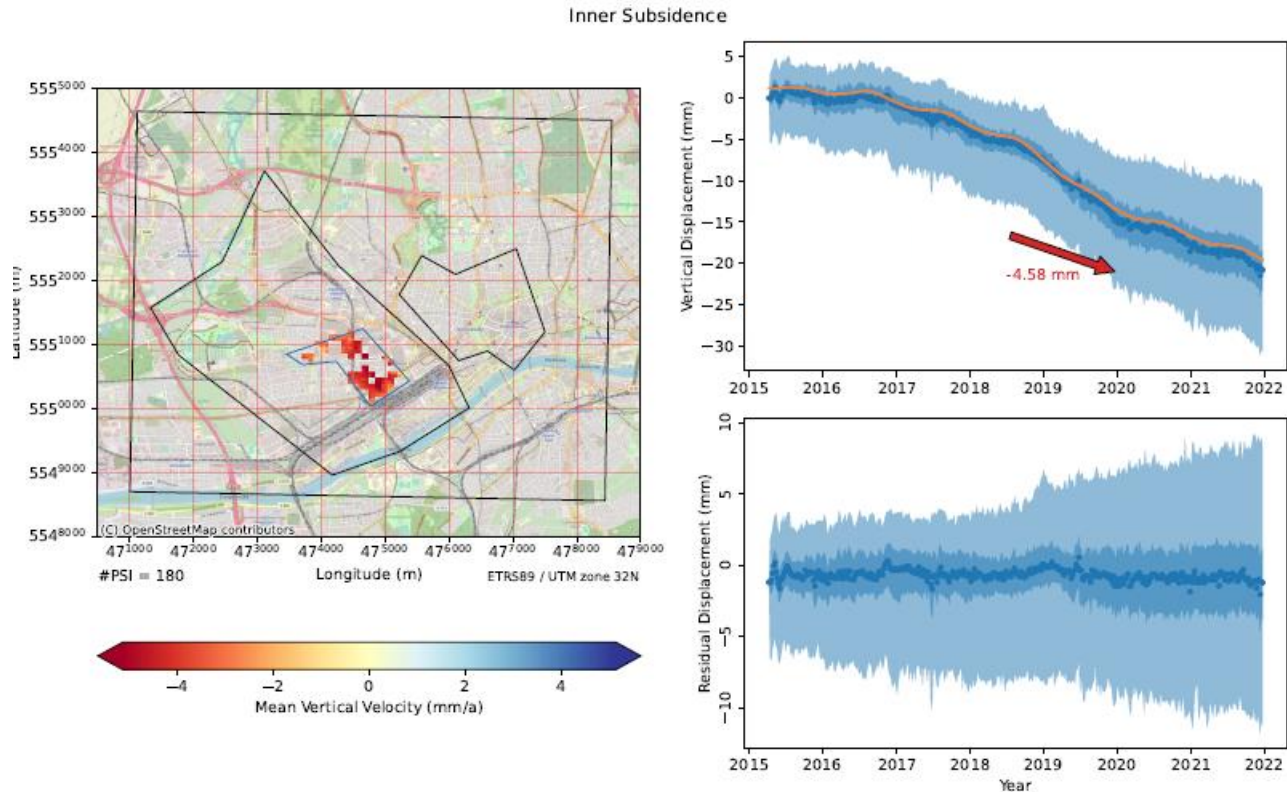
# Zeitreihenanalyse



Linearer Trend:  
-0.55 mm/a

Beispiel: Stadt Frankfurt am Main

# Zeitreihenanalyse



Beispiel: Stadt  
Frankfurt am Main

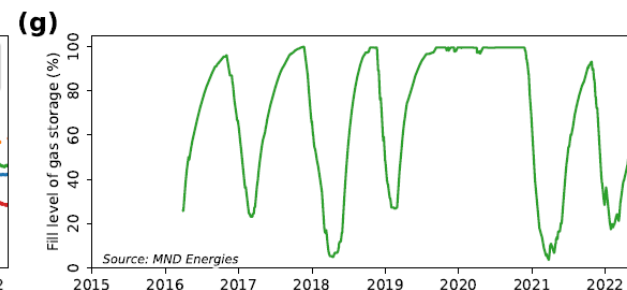
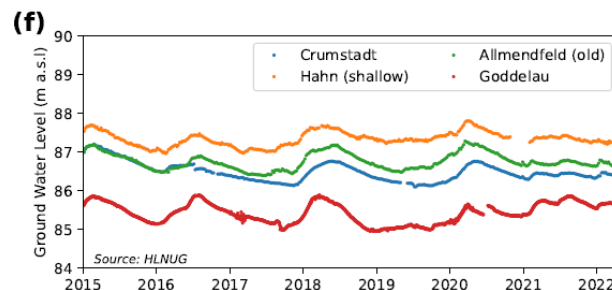
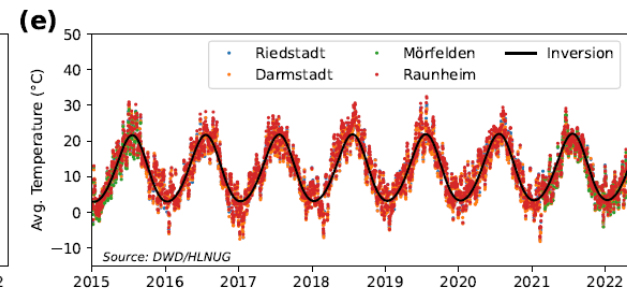
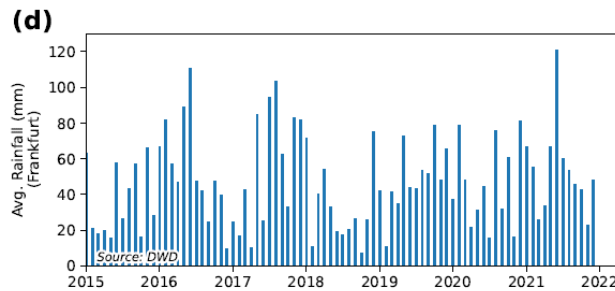
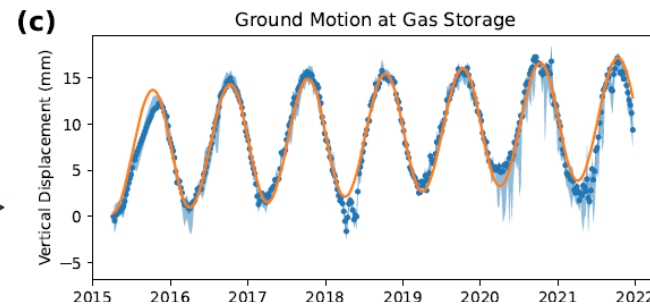
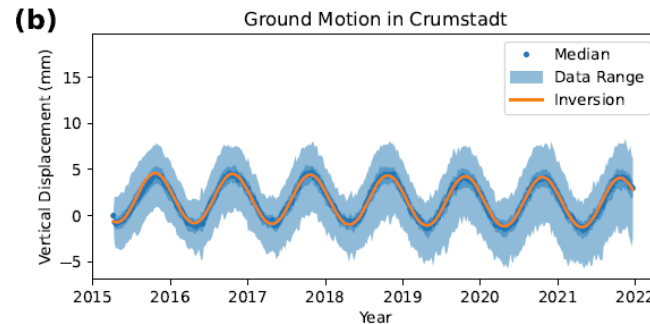
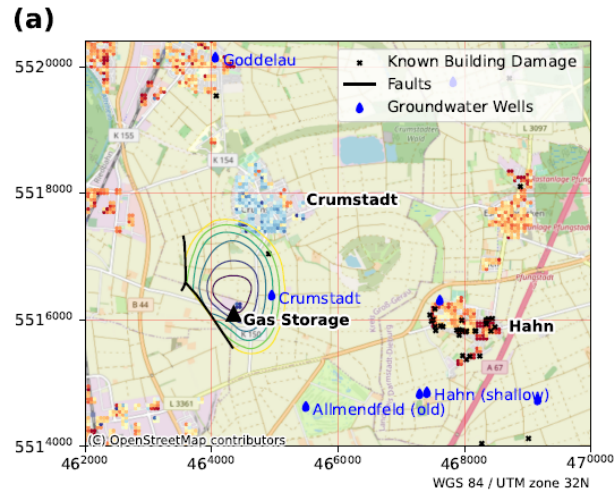
Absenkung:  
-4.58 mm/a



Ab 2017: Baustelle U5; Neubau  
tiefgegründeter Hochbauten

# Zeitreihenanalyse

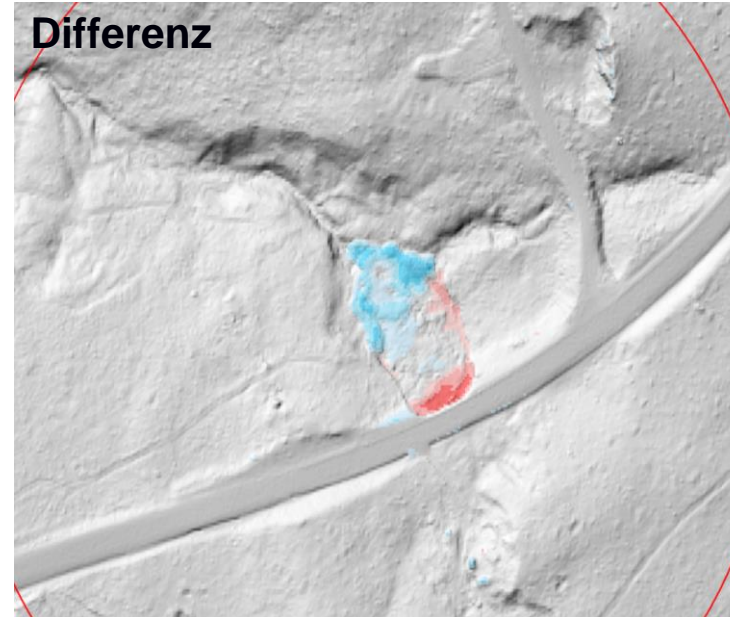
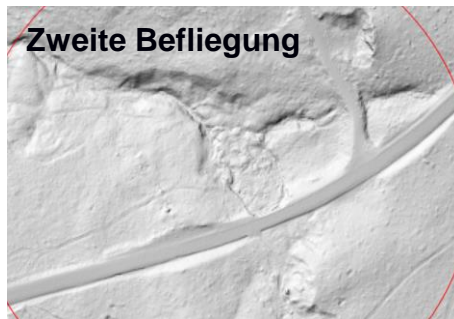
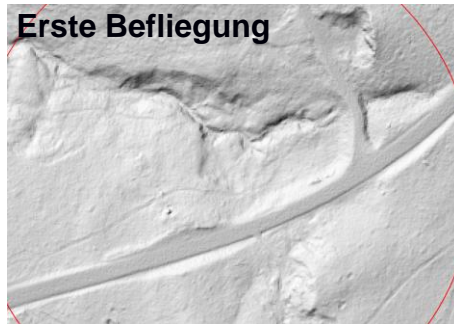
## Vergleich mit externen Daten für das Beispiel Crumstadt



Vergleich mit Grundwasserständen, Gasspeicherfüllständen, Niederschlagsdaten, Temperaturdaten, etc. zur Interpretation der jahreszeitlichen Schwankungen



# Bodenbewegungen aus Laserscandaten



Beispiel einer  
Rutschung am  
Hohen Meißner  
(Nordosthessen)

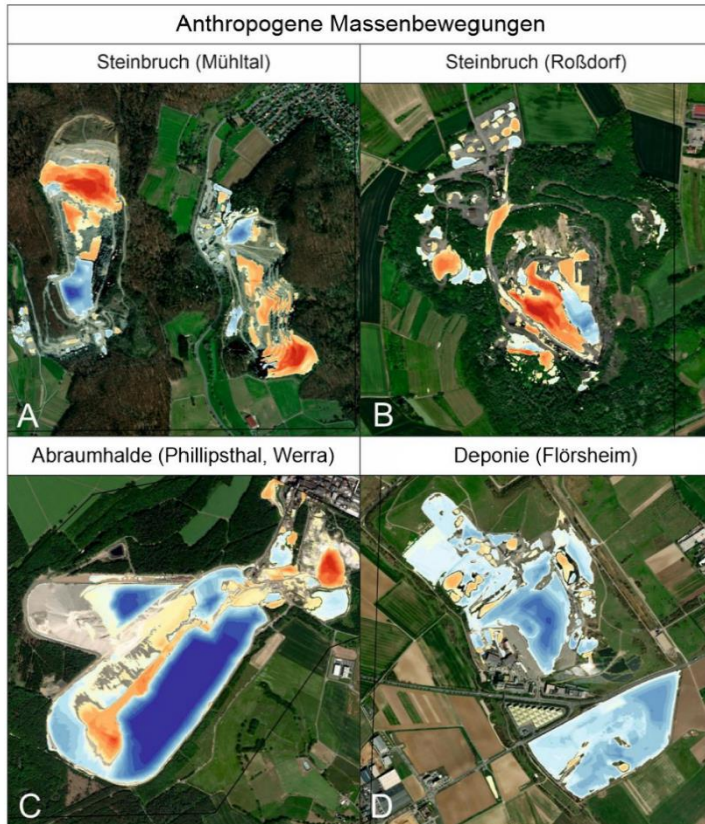
Digitales Gelände Modell:

Auflösung: 1m Raster, Bodenbewegungen ab 15 cm auflösbar

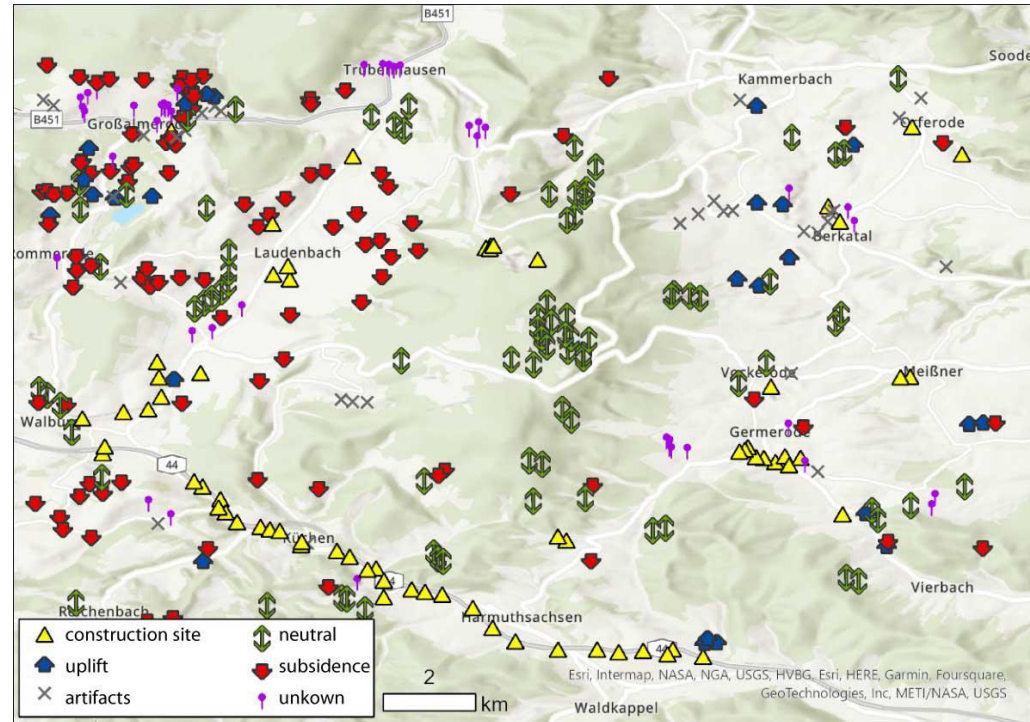
Berechnung eines Differenzenplanes und farbliche Codierung (blau=Setzung, rot=Hebung)

Aussagen über Massenbewegungen dort möglich, wo keine Radar (BBD)-  
Daten verfügbar sind (Berechnung der Rutschmasse, Abtrag durch  
Abbaubetrieb, etc.)

# Bodenbewegungen aus Laserscandaten



Beispiele für anthropogene Massenbewegungen aus dem DGM-Differenzenplan



Klassifizierung von Bodenbewegungen

# Zusammenfassung und Ausblick

HESSEN



Neue Visualisierungsoption (Kachelansicht) der Radar-Daten für Hessen

Entwicklung einer automatisierten Detektion von Bodenbewegungs-Hot Spots

Durchführung von Zeitreihenanalysen und Vergleich mit weiteren Daten zur Ursachenforschung der Bodenbewegungen

Verschnitt mit Laserscandaten, um Anwendungsbereich zu erweitern

Erstellung eines Bodenbewegungsatlas für das Bundesland Hessen aufgrund von Fernerkundungsdaten

Öffentliche Bereitstellung innerhalb des Geologie-Viewer des HLNUG und innerhalb Geo-Portalen von hessischen Großstädten geplant



Für eine lebenswerte Zukunft



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



© Digitale/Heibel



Für eine lebenswerte Zukunft

# Zeitreihenanalyse



Polynome:  $[A_1 + A_2 \cdot (t - t_R) + A_3 \cdot (t - t_R)^2 + A_n \cdot (t - t_R)^{n-1} + \dots]$

Sinus und Kosinus:  $[B_1 \cdot \sin(2\pi t) + B_2 \cdot \cos(2\pi t) + B_3 \cdot \sin(4\pi t) + B_4 \cdot \cos(4\pi t)]$

Antennenverschiebung:  $[C_n \cdot tH(t_{AT}) + \dots]$

Erdbeben:  $[D_n \cdot tH(t_{EQ}) + \dots]$

Postseismische Relaxation:  $[E_n \cdot \log(1 + \frac{t}{dT_1}) + \dots]$

■ mit  $dT_n = 1$

Wasserentnahme:  $[F_n \cdot \frac{1}{1 + e^{-kF_n(t-t_0)}(\frac{F_n}{t_0} - 1)} + \dots]$

■ mit  $k = \frac{2 \times 2.92}{t_{end} - t_{start}}$

→ Anstieg genau zwischen  $t_{start}$  und  $t_{end}$

■ und  $t_0 = t_{start} + \frac{1}{2}(t_{end} - t_{start})$

→ Halber Wert zwischen  $t_{start}$  und  $t_{end}$