

**Nutzung von Fernerkundungsdaten zur  
Detektion und Interpretation von  
Bodenbewegungen in Hessen**

**Katrin Krzepek, Michael Rudolf (TU Darmstadt), Benjamin  
Homuth (HLNUG)**



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



digitales.hessen  
WO ZUKUNFT ZUHAUSE IST



Für eine lebenswerte Zukunft

1. Einführung – Motivation (Benjamin Homuth)
2. Detektion von Bodenbewegungen mit Radar- und Laserscandaten - Datenaufbereitung, Methoden, Visualisierung, automatische Detektion (Katrín Krzepek)
3. Dateninterpretation, Zeitreihenanalysen, Klassifizierung (Michael Rudolf)
4. Zusammenfassung und Ausblick (Benjamin Homuth)

# Einführung - Motivation

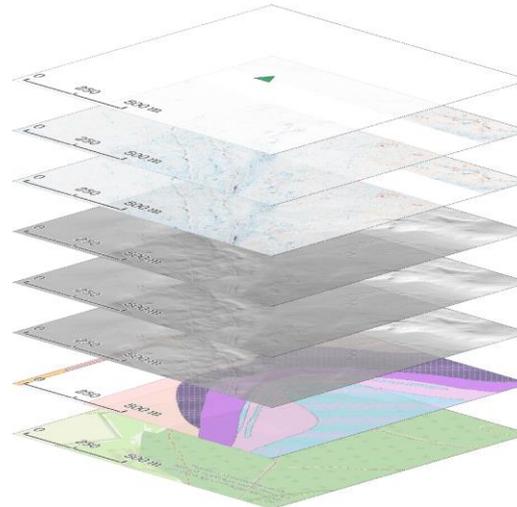


Feststellung von großräumigen Bodenbewegungen und dazugehöriger Ursachenforschung

Betroffene Regionen ausfindig machen durch Auswertung von Fernerkundungsdaten

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

Öffentliche Bereitstellung



# Einführung – Motivation (2)

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

### BBD-Daten

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

### PS

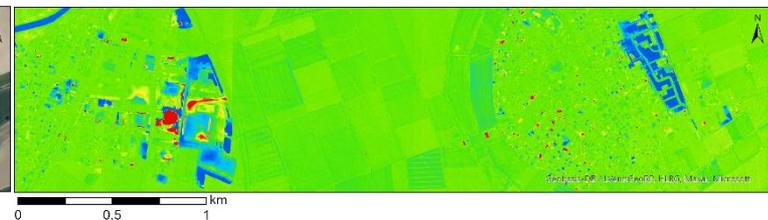
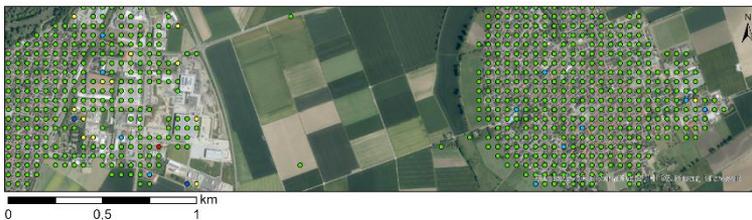
- Punktdaten + Zeitreihen
- 50 m Abstand, heterogen verteilt
- 2015 - 2022 (ca. alle 6 Tage)

### 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 (3)

HESSEN



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



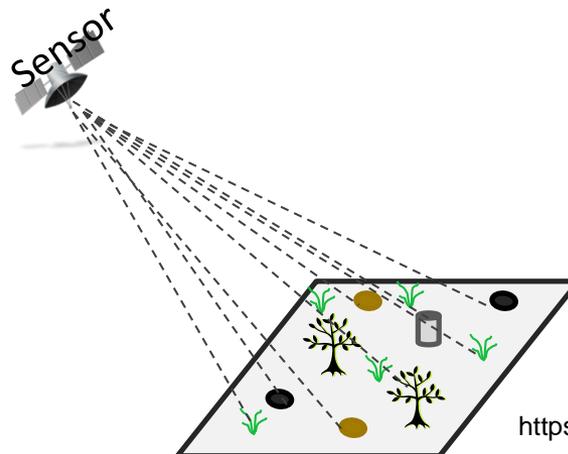
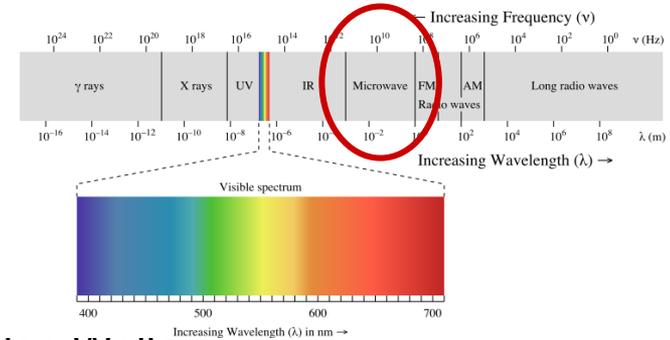
# Daten & Datenaufbereitung Radarfernerkundung (SAR)

SAR = **Synthetic Aperture Radar**  
(Nutzt Flugrichtung als synthetische Empfangsantenne)

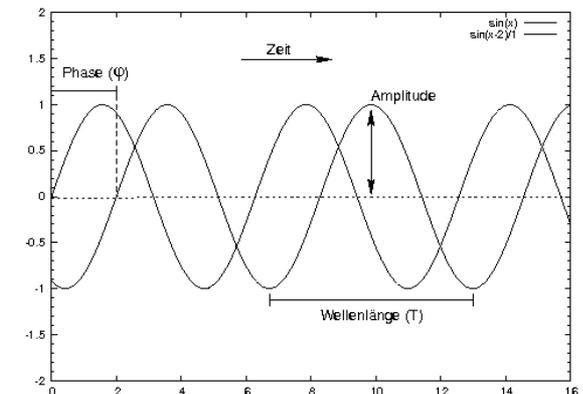
Hauptunterschiede zur optischen Fernerkundung:

- sendet Signale im Mikrowellenbereich
- Aktives System
- Seitlich blickend
- Misst Intensität/Amplitude und Phase der empfangenden Welle

Wachsende Wellenlänge:



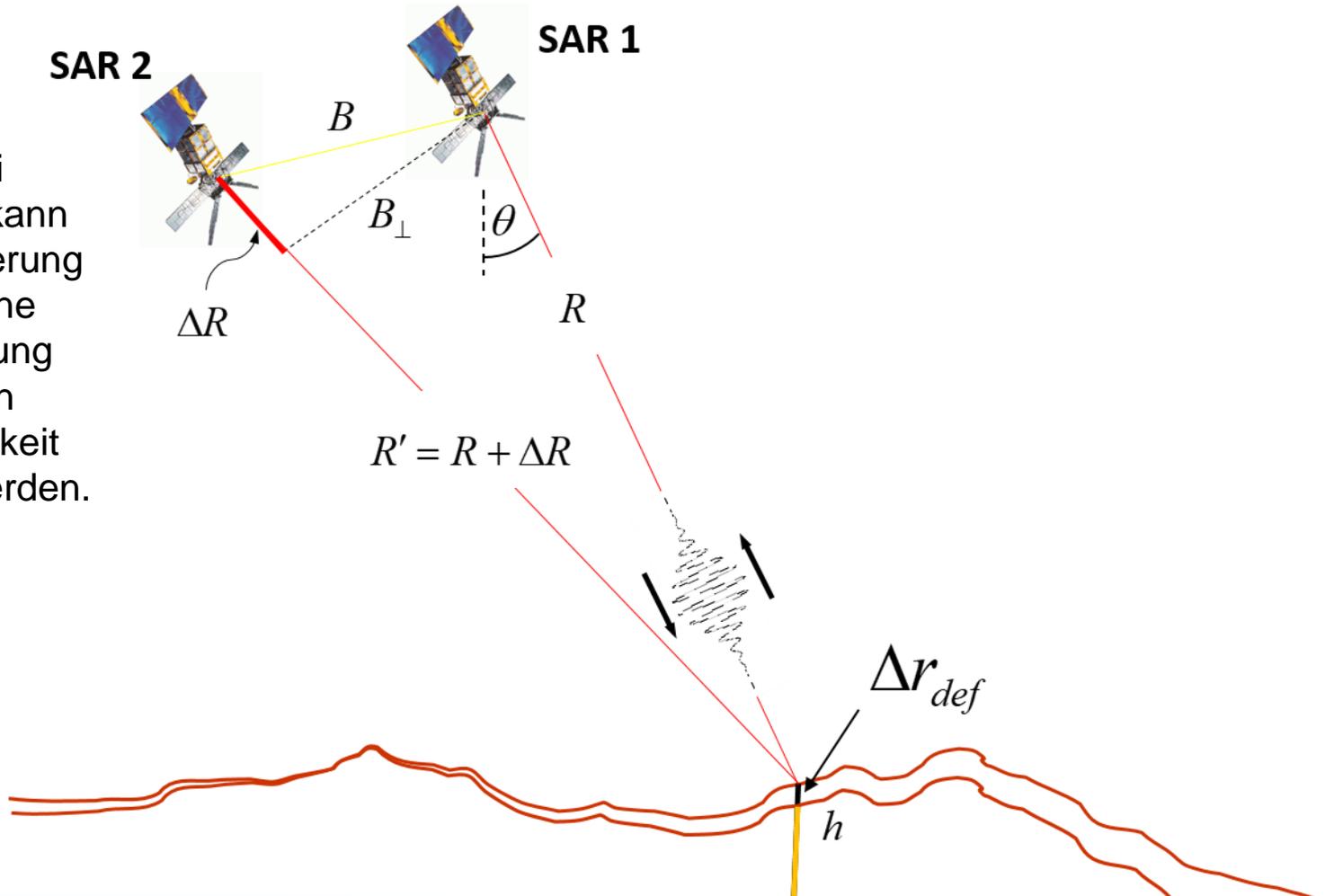
after Sarti (2011)



<https://www.selma.hfmdk-frankfurt.de/akustische-grundlagen/ch05.html>

# Daten & Datenaufbereitung SAR Interferometrie (InSAR)

Bei min. zwei  
Aufnahmen kann  
aus der Änderung  
der Phase eine  
Höhenänderung  
im Gelände in  
mm-Genauigkeit  
abgeleitet werden.



Quelle: DLR

# Daten & Datenaufbereitung

## Persistent Scatterer Interferometrie (PSI)

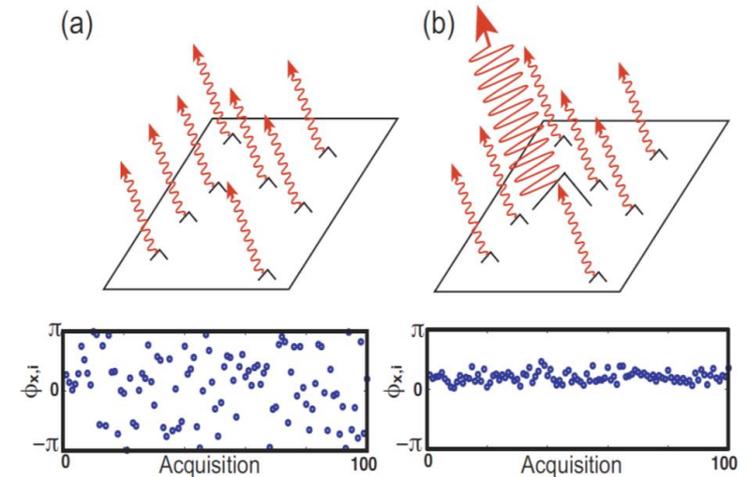
Aus der Änderung der Phase über die Zeit kann eine **Deformationszeitserie** abgeleitet werden.

Es werden **Persistent Scatterer (PS)** genutzt  
Diese haben über die Zeit hinweg ein starkes Signal

- ✓ z.B. Corner Reflektoren
- ✓ Oder Gebäude
- ✓ Ähnliche rechtwinklige Objekte

Ungeeignet

- Objekte, die diffus streuen
- Oder sich stark verändern



# Daten & Datenaufbereitung

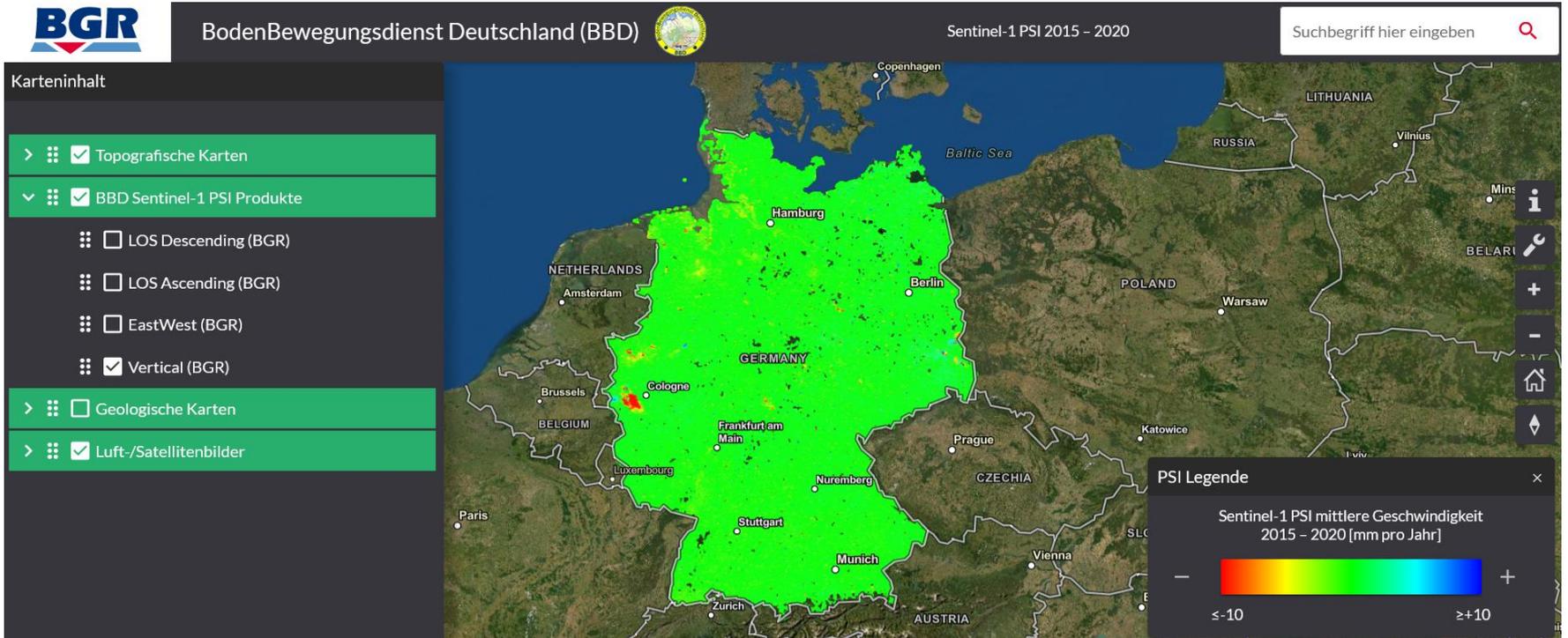
## Bodenbewegungsdienst Deutschland (BBD)



image@ESA

### Sentinel-1 (A&B) Zwillingssatelliten

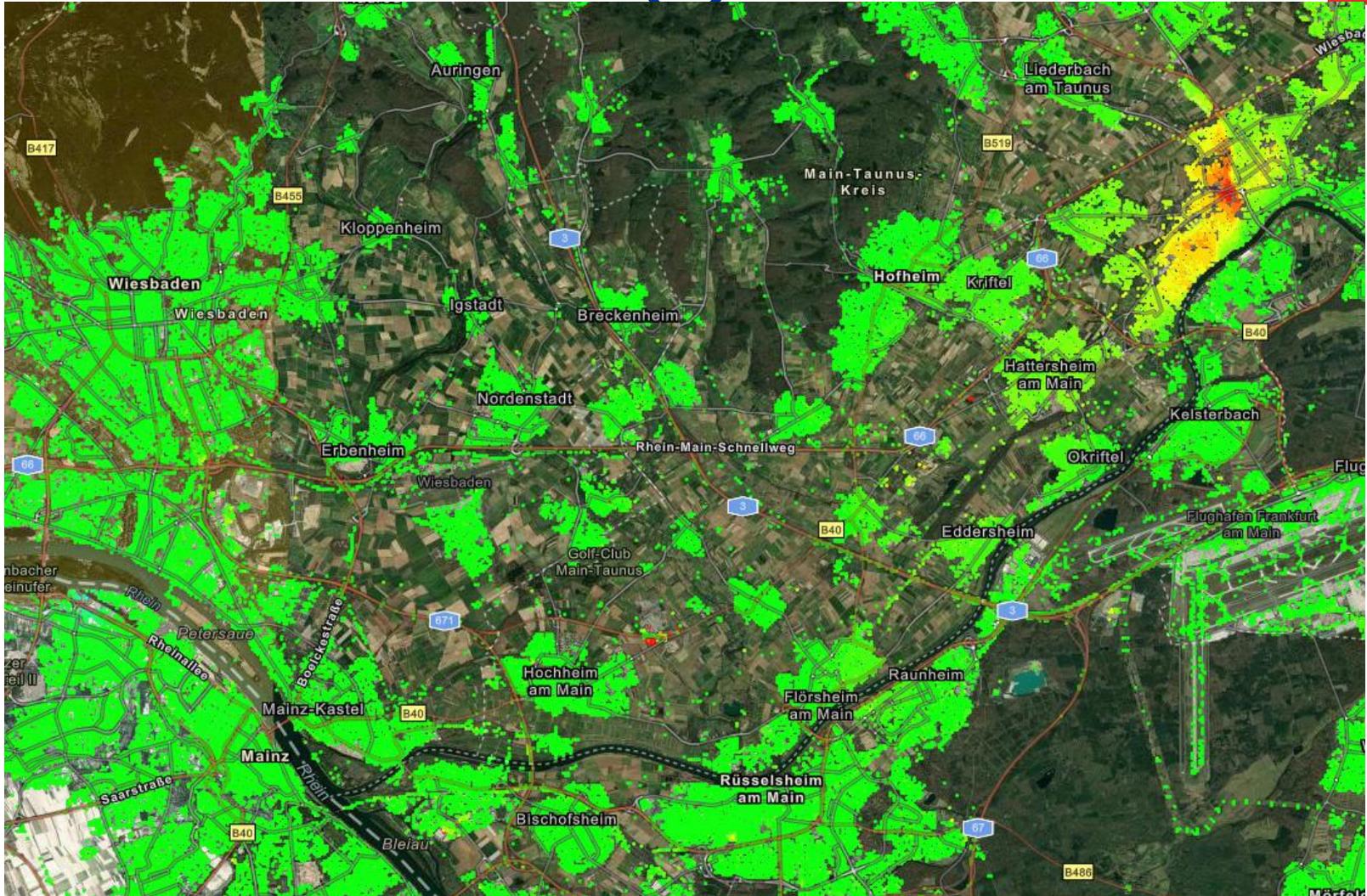
- Start 2015 bis heute
- Überflug alle 6 Tage: Deformationszeitreihe
- Bodenauflösung ca. 5x20 m
- Bewegung in Vertikaler und Ost-West Richtung



# Daten & Datenaufbereitung

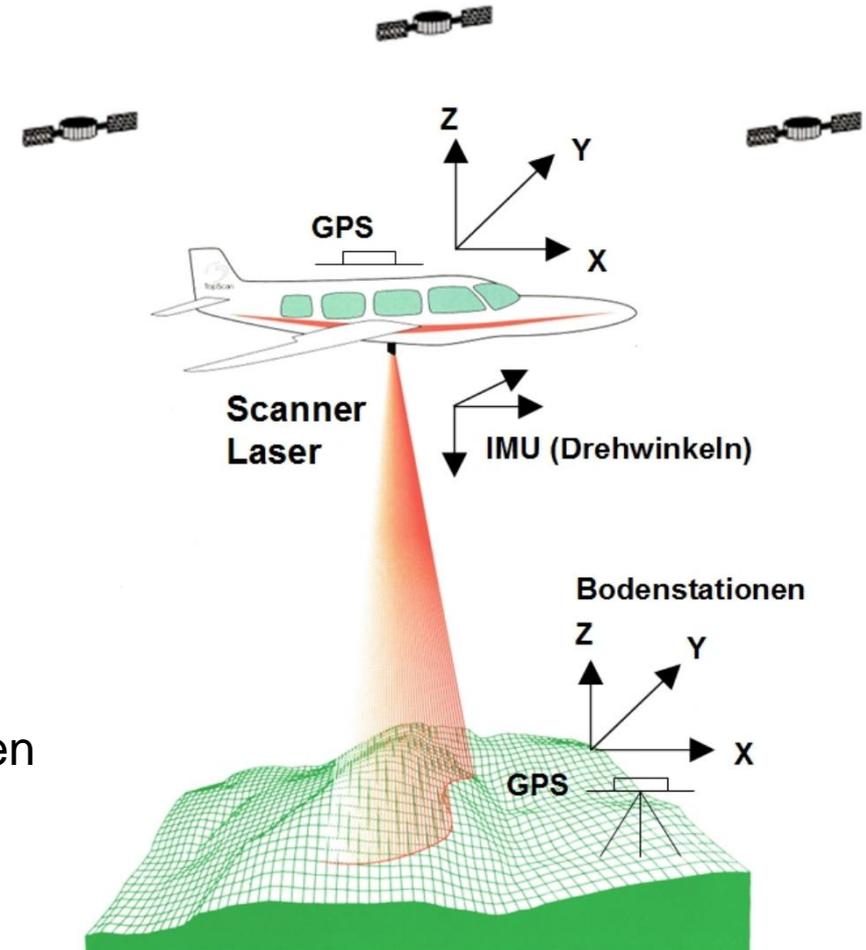
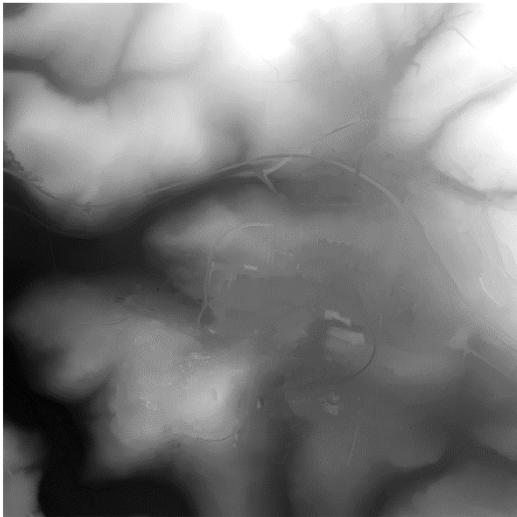
## Bodenbewegungsdienst Deutschland (BBD)

### (2)



# Daten & Datenaufbereitung

## Laserscanning - DGMs



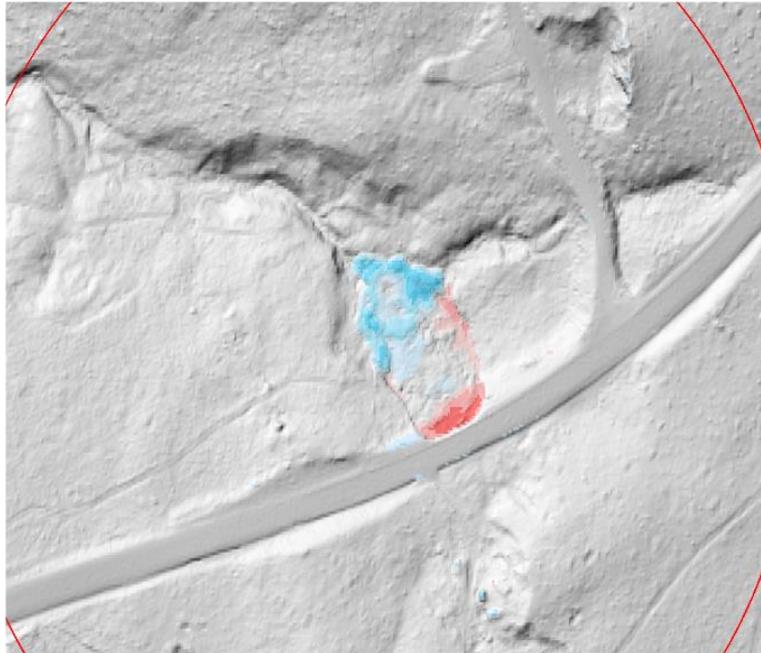
### Digitale Geländemodelle

- Hessen bisher 2x komplett befliegen
- Bodenauflösung 1x1 m
- Bodenbewegung wird aus Differenzen der zwei Befliegungen abgeleitet

<https://www.doris.at/themen/basiskarten/als.aspx>

# Daten & Datenaufbereitung

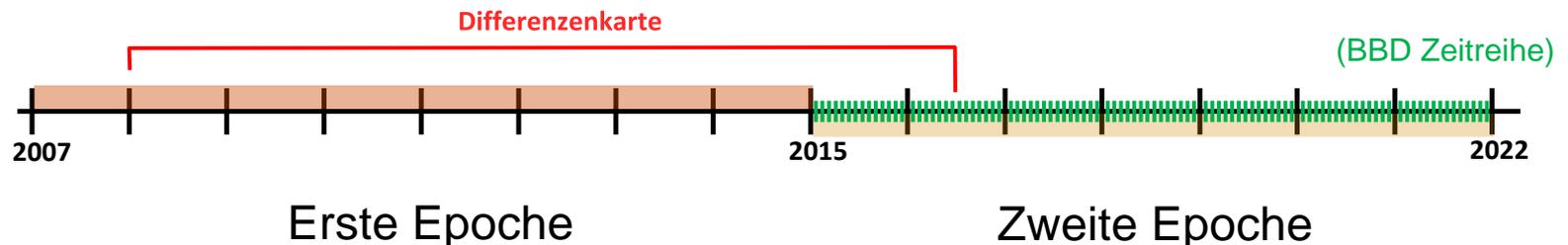
## DGM-Differenzenkarten



Quelle: Thomas Schmidtke, HLNUG

Die Differenzenkarten zeigen die Veränderung zwischen dem DGM der ersten Epoche und dem DGM der zweiten Epoche.

Differenzenkarte  
(Rot: Senkungen  $> 0,5$  m;  
Blau: Hebungen  $> 0,5$  m)



# Daten & Datenaufbereitung

## Aufbereitung der DGMs (1/2)

Das DGM der ersten Epoche und das DGM der zweiten Epoche beziehen sich nicht auf das selbe Höhenbezugssystem (DHHN92 und DHHN16)

In Hessen liegen die Änderungen zwischen beiden Höhenbezugssystemen zwischen -6,6 und +3,5 cm

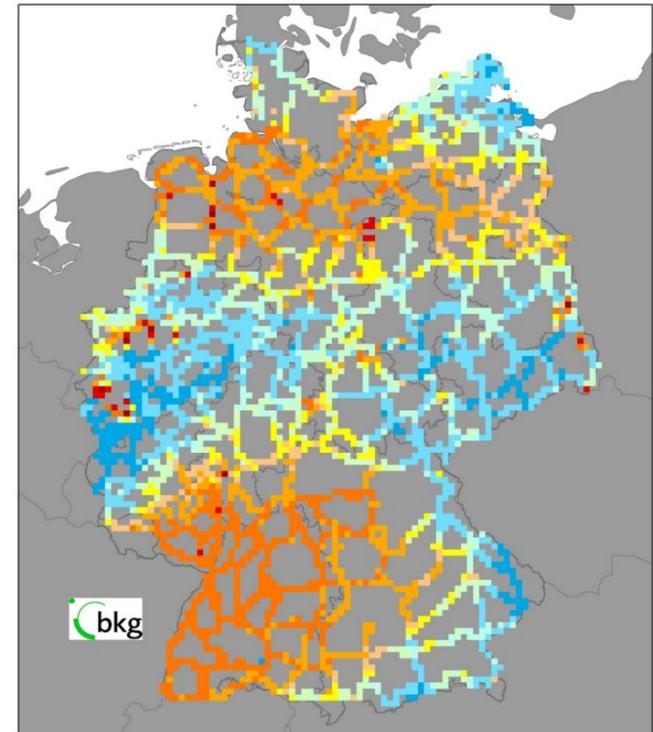
→ Umrechnung erforderlich mittels HOETRA

<https://www.hoetra2016.nrw.de/>

Der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)

Jede DGM-Kachel (1x1km) der ersten Epoche mit Korrekturwert verrechnet

Höhenänderungen zwischen DHHN92 und DHHN2016



Höhenänderung in mm



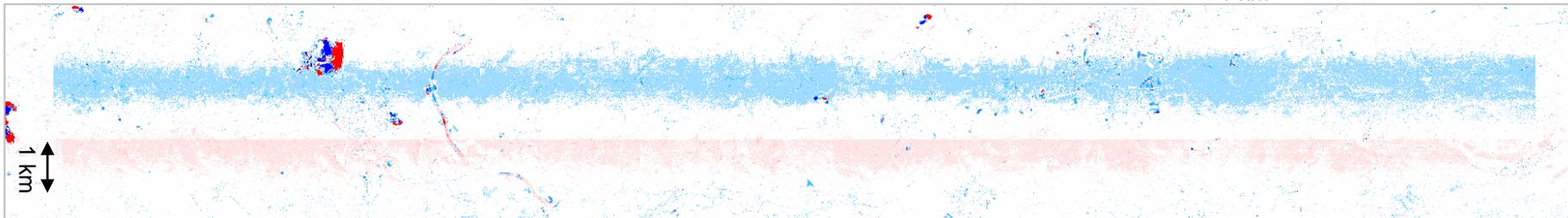
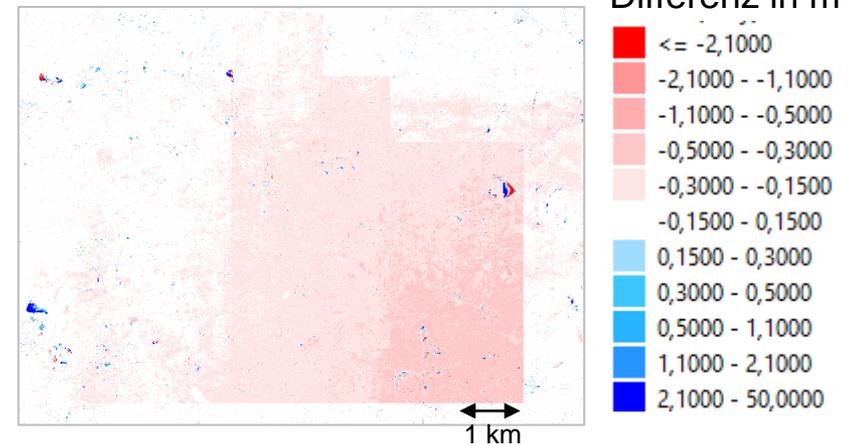
Höhenänderungen zwischen DHHN92 und DHHN2016

# Daten & Datenaufbereitung

## Aufbereitung der DGMs (2/2)

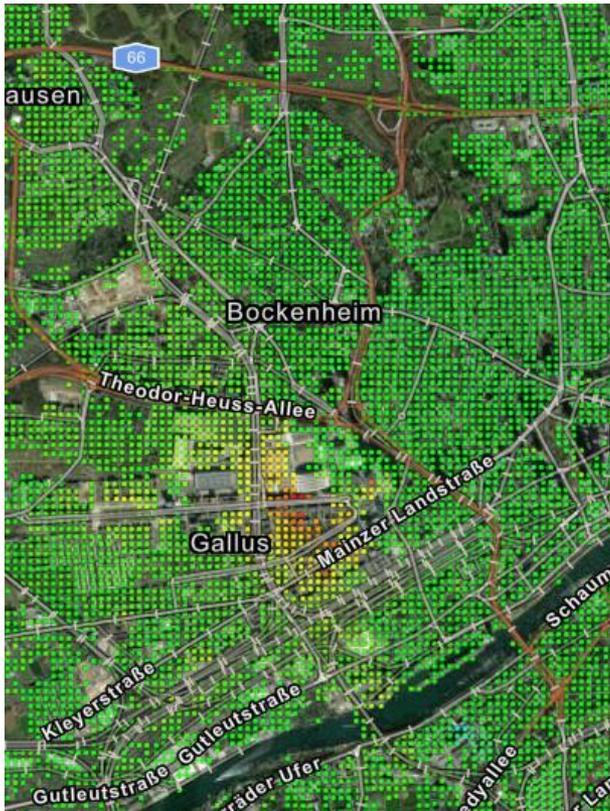
Weitere Ungenauigkeiten durch:

- Unterschiedliche Punktdichte der Laserscan-Punktwolke  
(Erste Epoche 4 Punkte pro m<sup>2</sup>, Zweite Epoche 10-12 Punkte pro m<sup>2</sup>)
- Sprünge und Durchbiegungen durch fehlende Erfahrung beim Streifenausgleich/Streifenanpassung
- Systematische Messungenauigkeiten

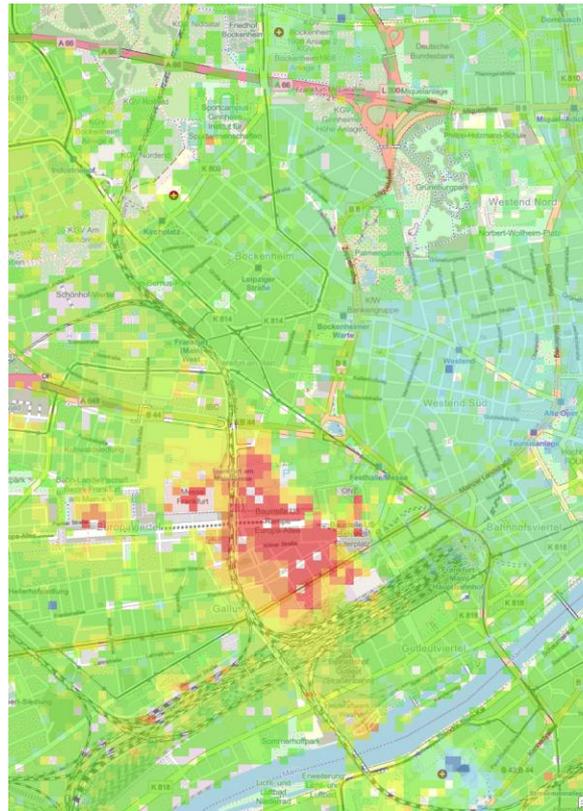


# Daten & Datenaufbereitung

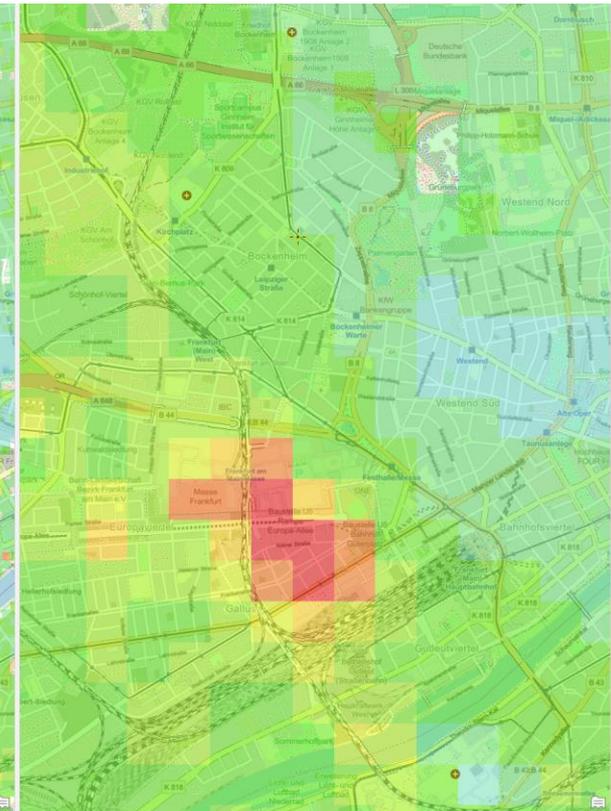
## Visualisierung der Daten



BBD - Punktdarstellung



Rasterdarstellung – 50 m



Rasterdarstellung – 250 m

# Daten & Datenaufbereitung

## Ground Motion Analyser (GMA) (1/2)



### Funktion

- Filtern der Daten nach Gebieten, in denen Bodenbewegungen stattfinden
- Fokusgebiete
- Fokussierung auf Gebiete mit starken Bewegungen, die von mehreren Persistent Scatterern angezeigt werden
- : Ausschluss von Ausreißern

### Methodik

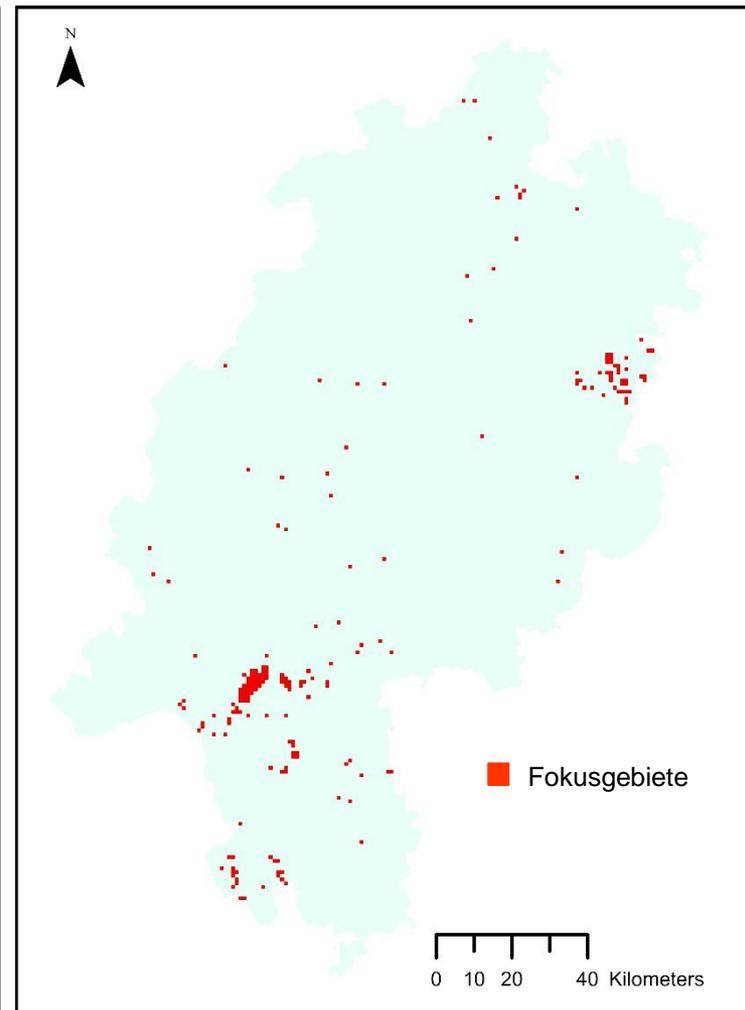
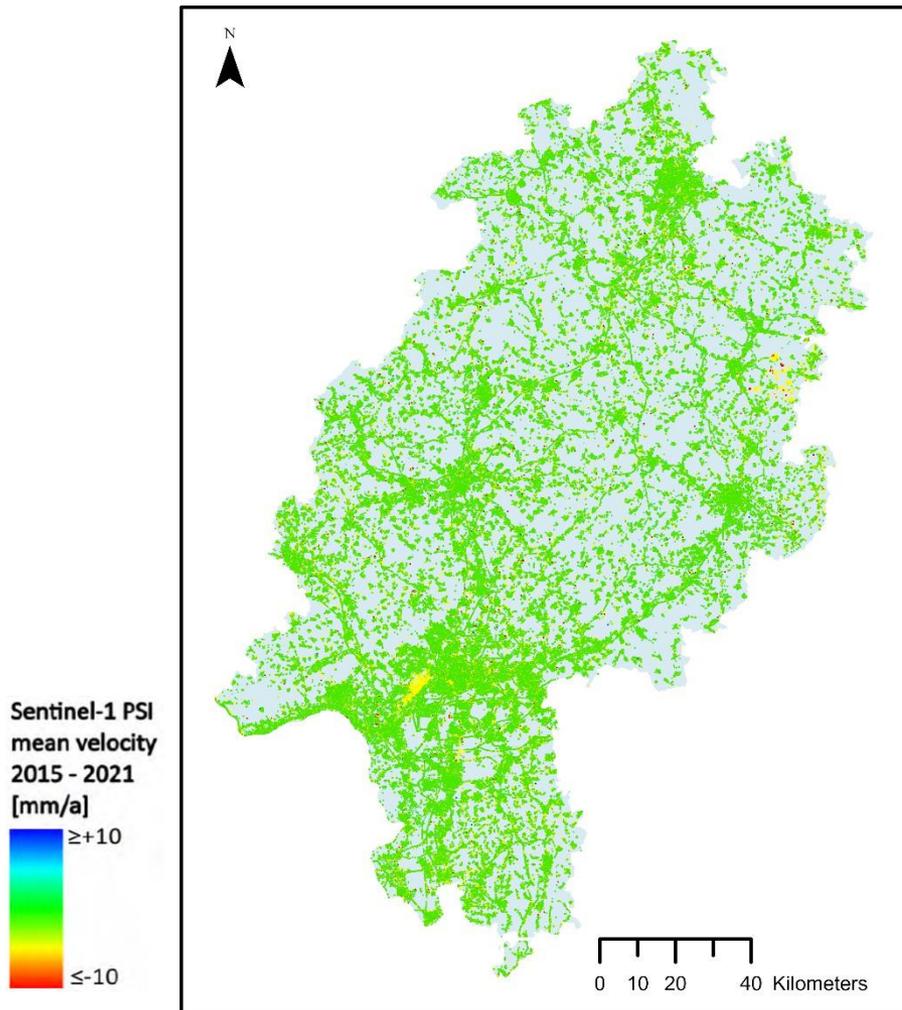
- Input:
  - PSI (asce/desce)
- Filtern: Hebungen/Setzungen  
(Grenzwert -2mm/jahr bzw. +2mm/jahr)
- Jeweils Raster für:
  - Summe der Bewegung
  - Anzahl der PS
- Erstellung 8 Raster  
(asce/desce, Hebungen/Setzungen)
- Verschmelzung
- Output:
  - Raster: Aol Hebungen
  - Raster: Aol Setzungen

# Daten & Datenaufbereitung

## Ground Motion Analyser (GMA) (2/2)

BBD

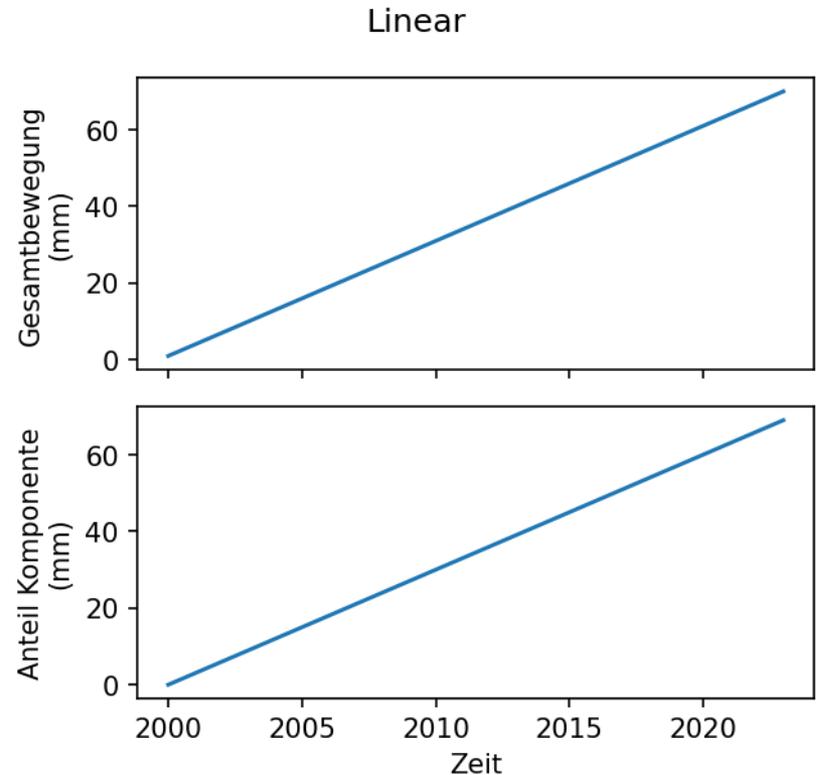
GMA Output



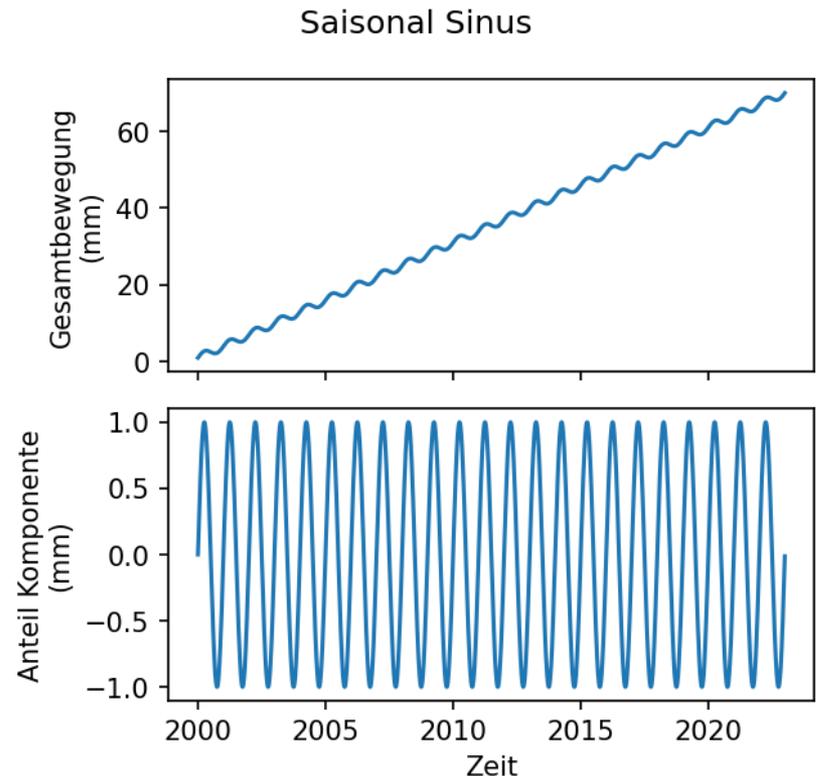
Ingenieurgeologie – TU Darmstadt

# ZEITREIHENANALYSE DER INSAR DATEN

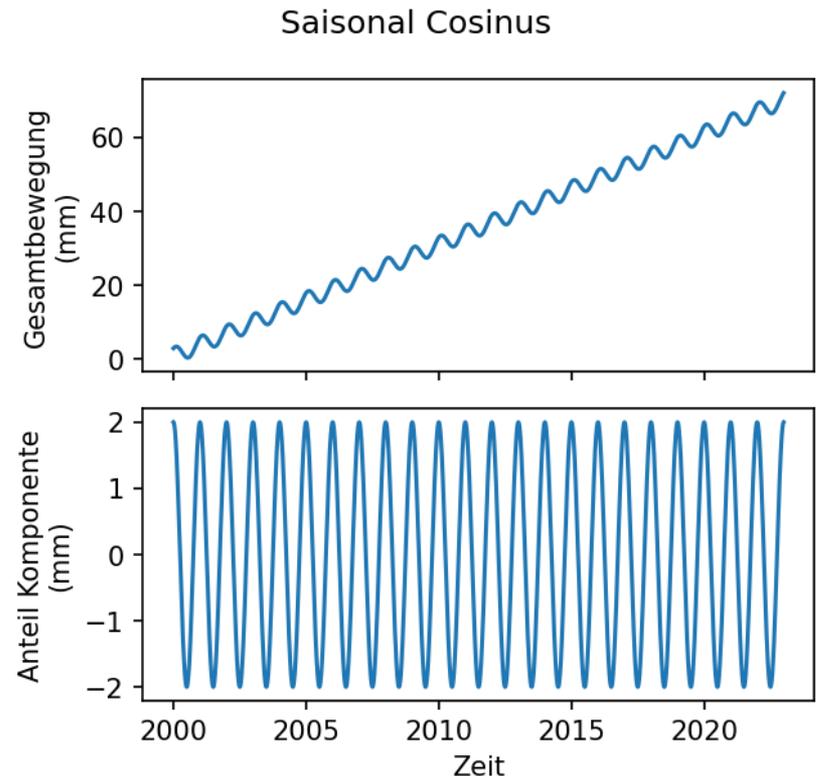
- Bewegungen von PS beinhalten verschiedene Komponenten
  - Linear (z.B. Tektonik)
  - Saisonal (z.B. Temperatur)
  - Transienten (z.B. Bergbau)
  - Sprünge (z.B. Erdbeben)
- Bestimmung durch Inversion
- Quantifizierung durch Zeitreihenanalyse
  - Ermöglicht Korrelation mit externen Daten
  - Extrapolation von Trends



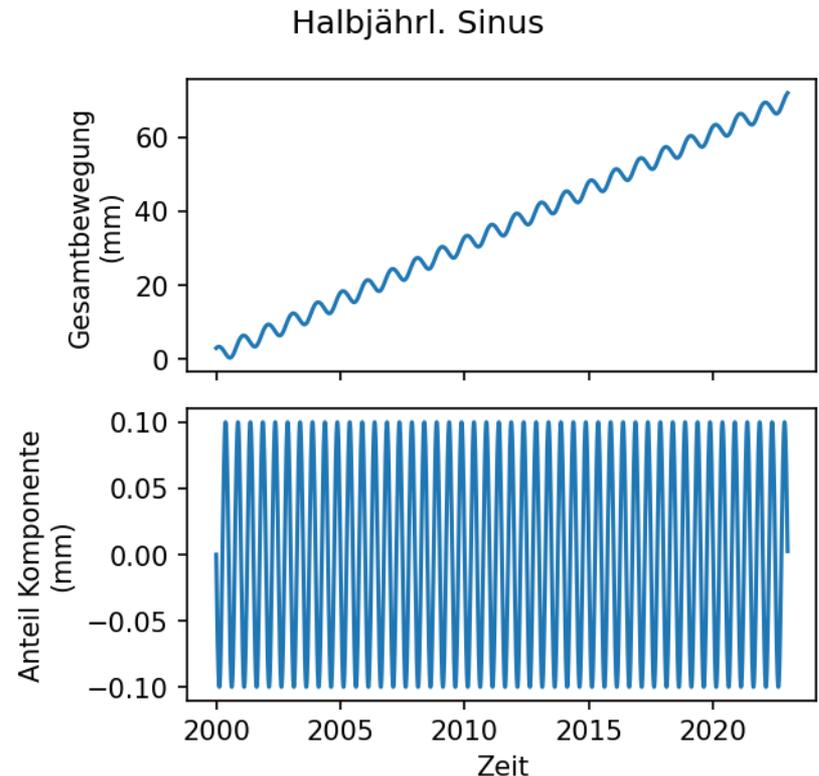
- Bewegungen von PS beinhalten verschiedene Komponenten
  - Linear (z.B. Tektonik)
  - Saisonal (z.B. Temperatur)
  - Transienten (z.B. Bergbau)
  - Sprünge (z.B. Erdbeben)
- Bestimmung durch Inversion
- Quantifizierung durch Zeitreihenanalyse
  - Ermöglicht Korrelation mit externen Daten
  - Extrapolation von Trends



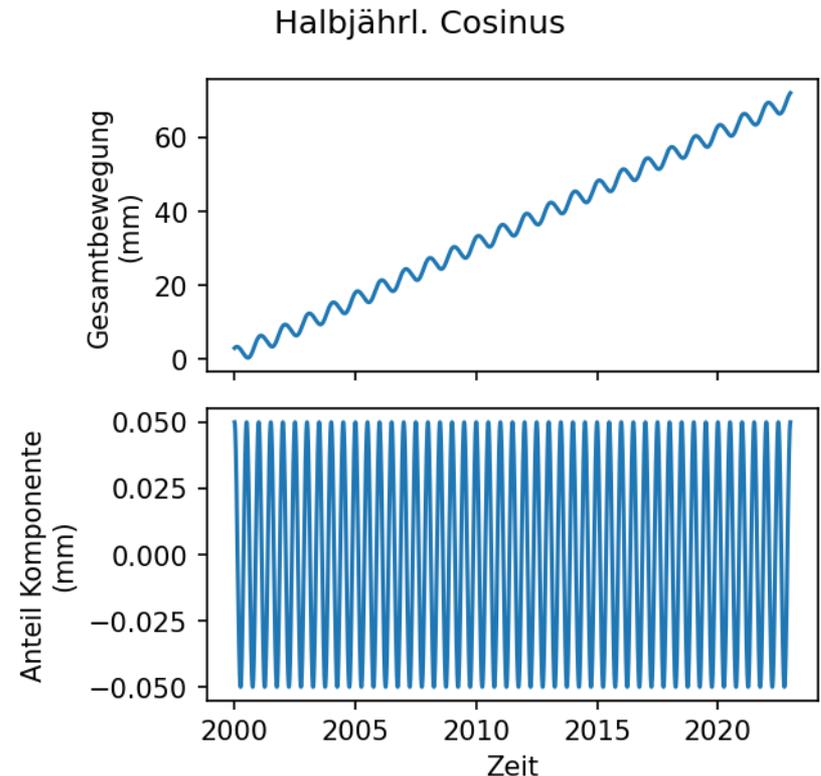
- Bewegungen von PS beinhalten verschiedene Komponenten
  - Linear (z.B. Tektonik)
  - Saisonal (z.B. Temperatur)
  - Transienten (z.B. Bergbau)
  - Sprünge (z.B. Erdbeben)
- Bestimmung durch Inversion
- Quantifizierung durch Zeitreihenanalyse
  - Ermöglicht Korrelation mit externen Daten
  - Extrapolation von Trends



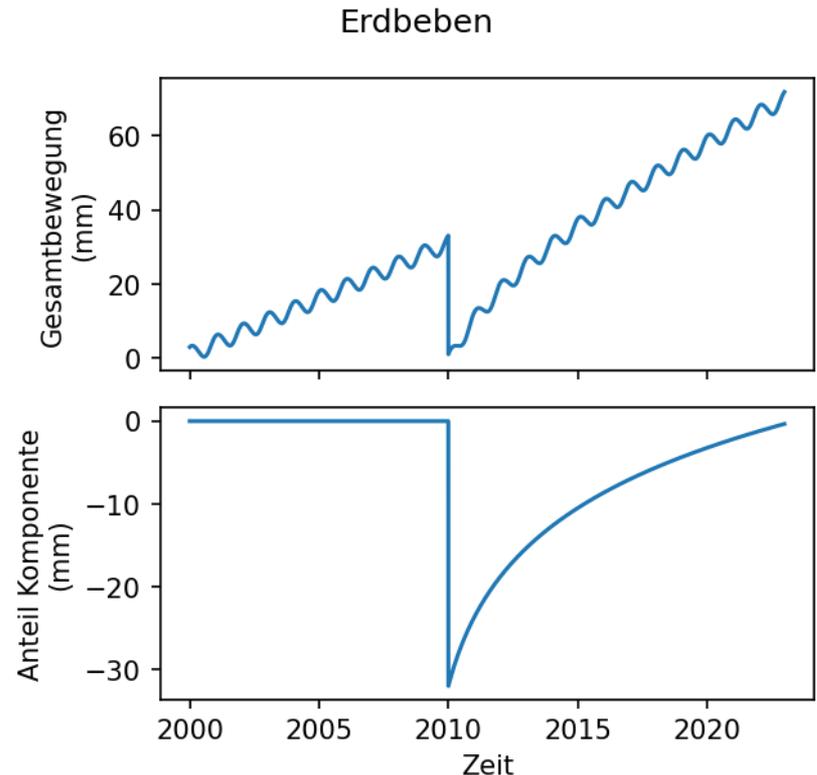
- Bewegungen von PS beinhalten verschiedene Komponenten
  - Linear (z.B. Tektonik)
  - Saisonal (z.B. Temperatur)
  - Transienten (z.B. Bergbau)
  - Sprünge (z.B. Erdbeben)
- Bestimmung durch Inversion
- Quantifizierung durch Zeitreihenanalyse
  - Ermöglicht Korrelation mit externen Daten
  - Extrapolation von Trends



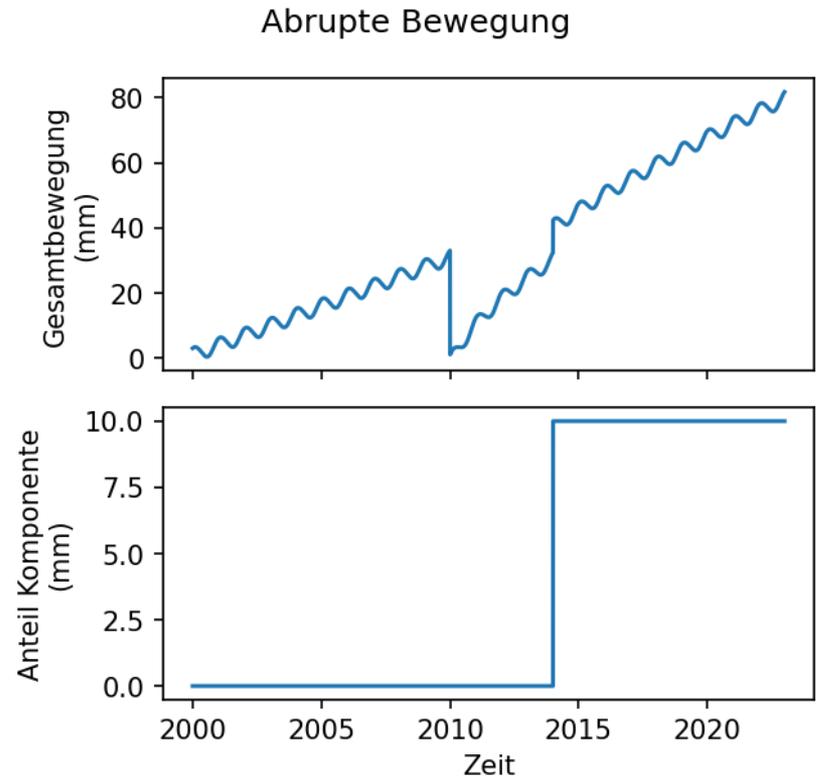
- Bewegungen von PS beinhalten verschiedene Komponenten
  - Linear (z.B. Tektonik)
  - Saisonal (z.B. Temperatur)
  - Transienten (z.B. Bergbau)
  - Sprünge (z.B. Erdbeben)
- Bestimmung durch Inversion
- Quantifizierung durch Zeitreihenanalyse
  - Ermöglicht Korrelation mit externen Daten
  - Extrapolation von Trends



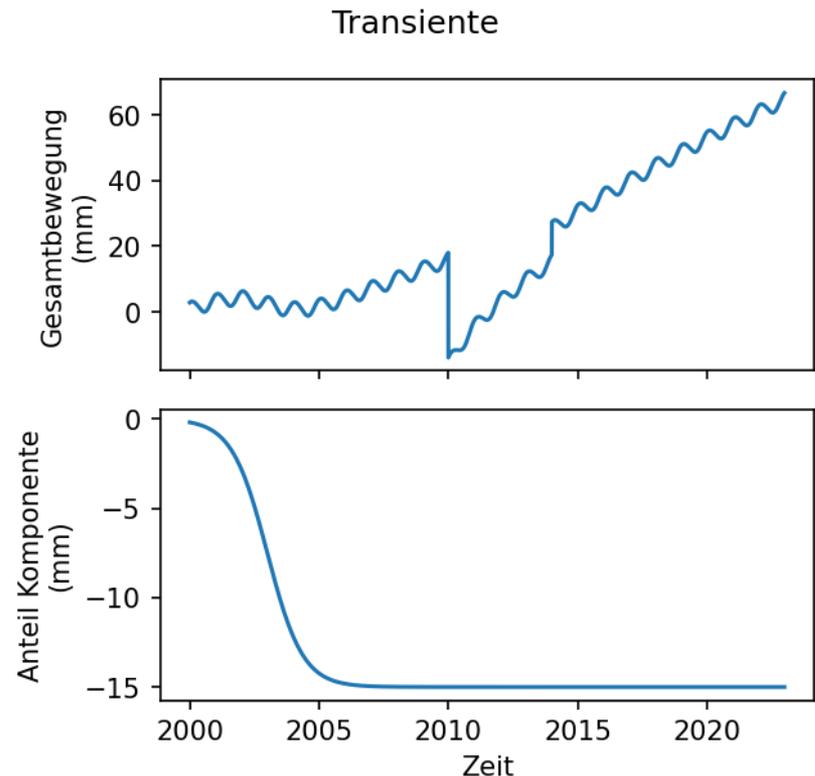
- Bewegungen von PS beinhalten verschiedene Komponenten
  - Linear (z.B. Tektonik)
  - Saisonal (z.B. Temperatur)
  - Transienten (z.B. Bergbau)
  - Sprünge (z.B. Erdbeben)
- Bestimmung durch Inversion
- Quantifizierung durch Zeitreihenanalyse
  - Ermöglicht Korrelation mit externen Daten
  - Extrapolation von Trends



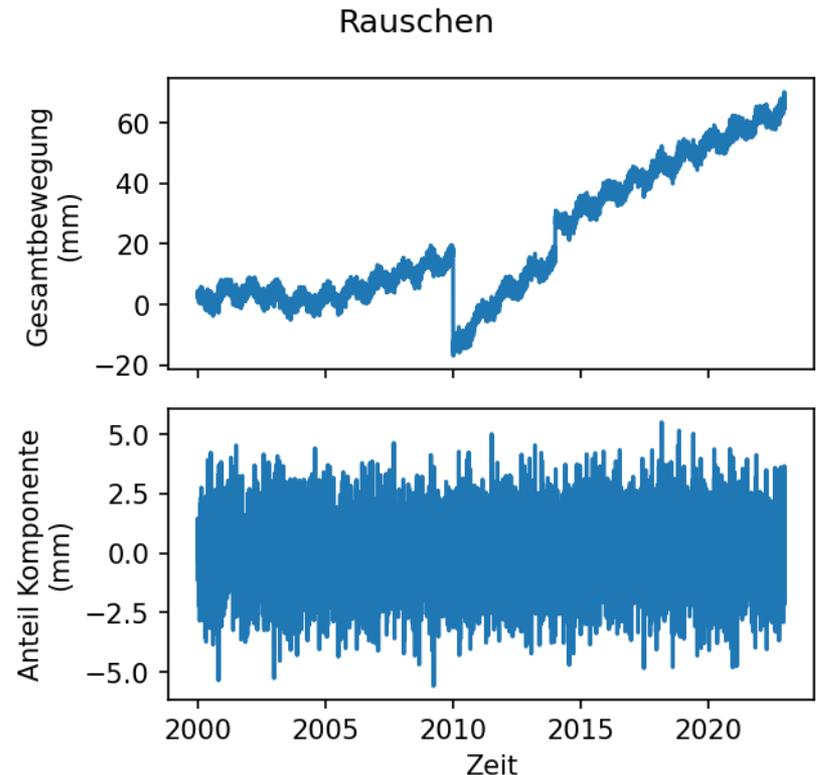
- Bewegungen von PS beinhalten verschiedene Komponenten
  - Linear (z.B. Tektonik)
  - Saisonal (z.B. Temperatur)
  - Transienten (z.B. Bergbau)
  - Sprünge (z.B. Erdbeben)
- Bestimmung durch Inversion
- Quantifizierung durch Zeitreihenanalyse
  - Ermöglicht Korrelation mit externen Daten
  - Extrapolation von Trends



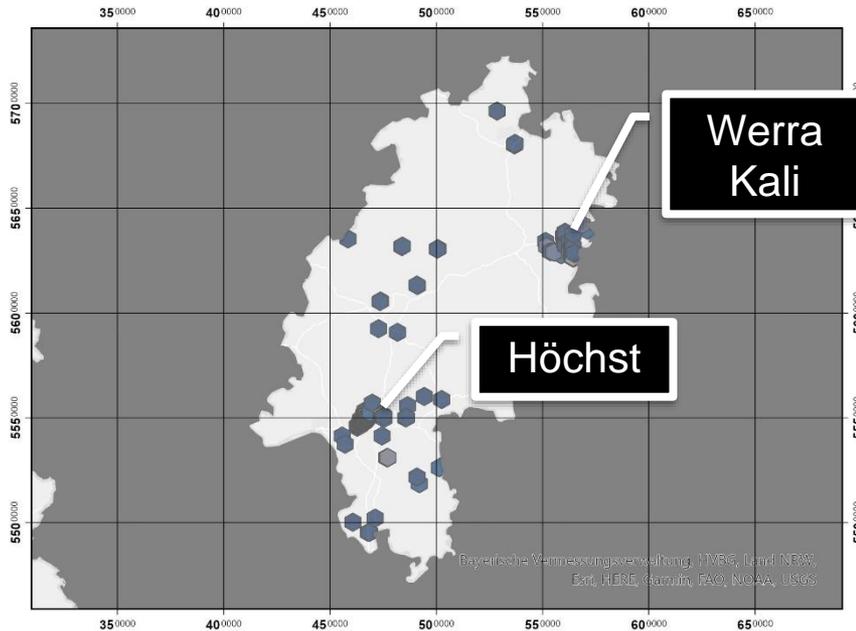
- Bewegungen von PS beinhalten verschiedene Komponenten
  - Linear (z.B. Tektonik)
  - Saisonal (z.B. Temperatur)
  - Transienten (z.B. Bergbau)
  - Sprünge (z.B. Erdbeben)
- Bestimmung durch Inversion
- Quantifizierung durch Zeitreihenanalyse
  - Ermöglicht Korrelation mit externen Daten
  - Extrapolation von Trends



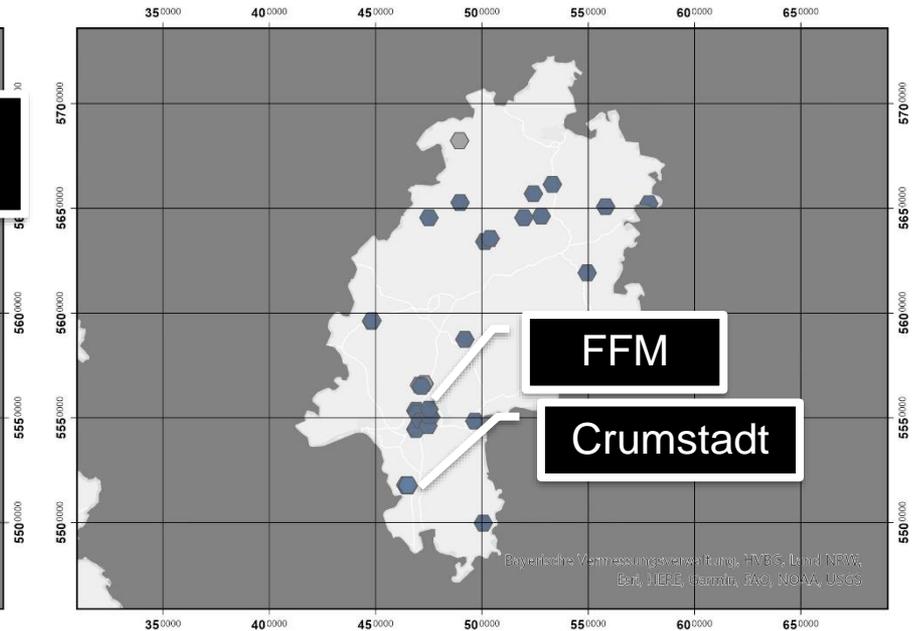
- Bewegungen von PS beinhalten verschiedene Komponenten
  - Linear (z.B. Tektonik)
  - Saisonal (z.B. Temperatur)
  - Transienten (z.B. Bergbau)
  - Sprünge (z.B. Erdbeben)
- Bestimmung durch Inversion
- Quantifizierung durch Zeitreihenanalyse
  - Ermöglicht Korrelation mit externen Daten
  - Extrapolation von Trends



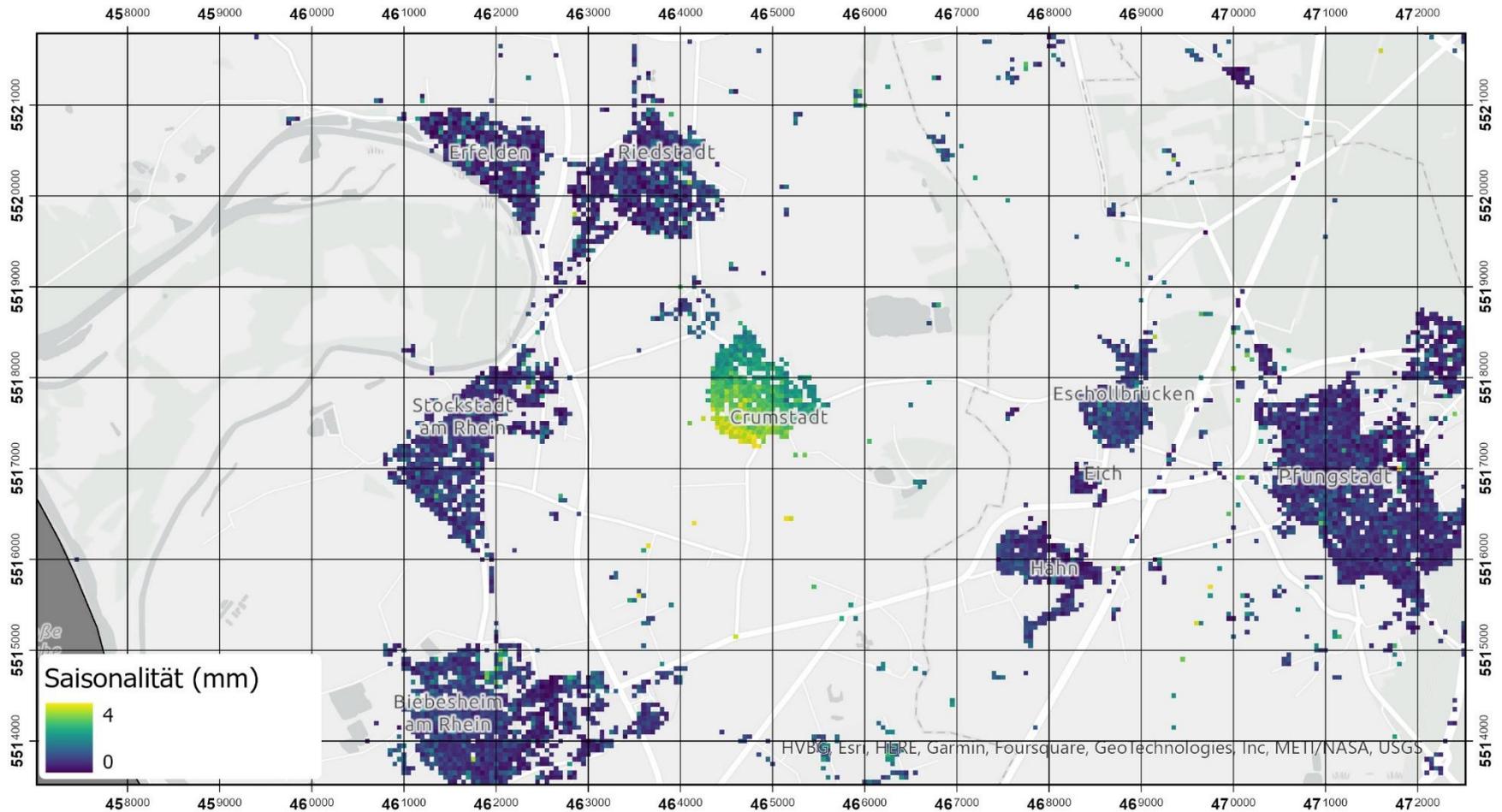
## Lineare Bewegung



## Saisonale Schwankungen

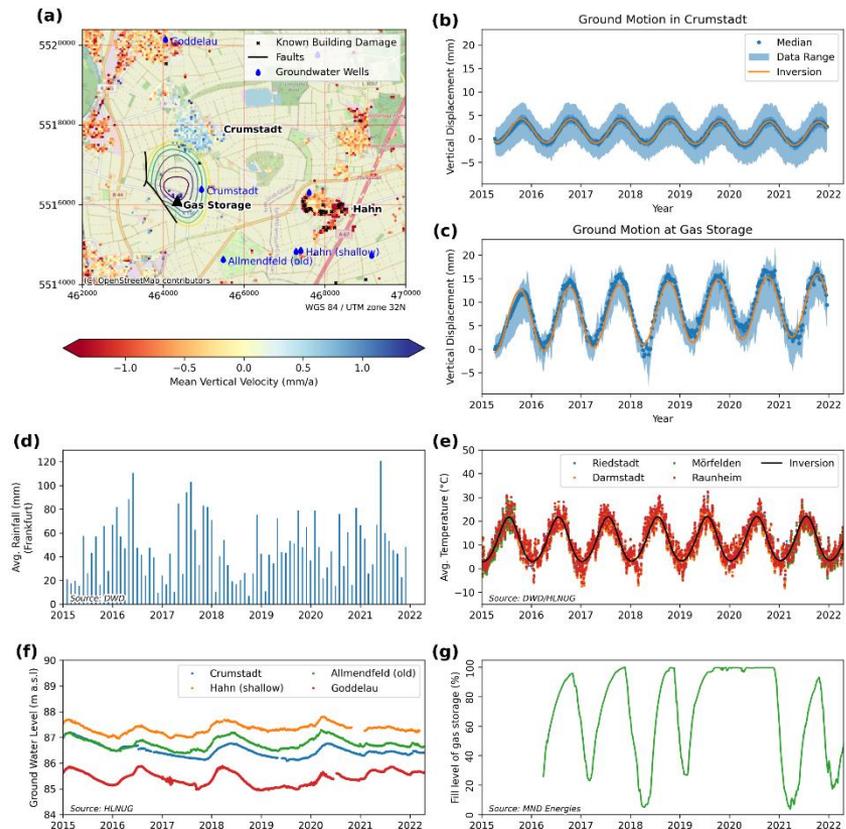


# Fallbeispiel Crumstadt Saisonale Bewegungen



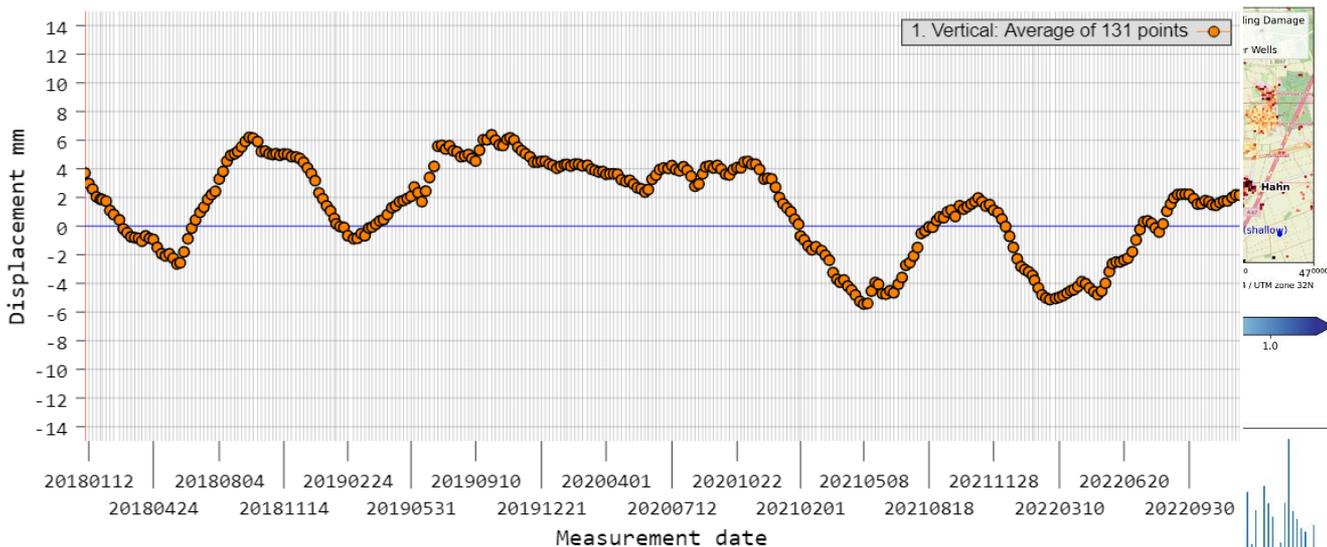
# Fallbeispiel Crumstadt Mögliche Ursachen

- Ehem. Neckarauen: Quellfähige Schichten (Torfe/Tone)
- Verschiedene externe Datenquellen zum Vergleich:
  - d) Niederschlag
  - e) Temperatur
  - f) Grundwasser
  - g) Füllstand Gasspeicher
- Keine direkte Korrelation sichtbar
- Periodizität mit Temperatur vergleichbar
- Vertrauenswürdigkeit BBD Daten?
  - Vergleich mit EGMS zeigt Abweichungen.



# Fallbeispiel Crumstadt Mögliche Ursachen (2)

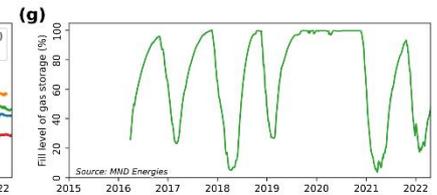
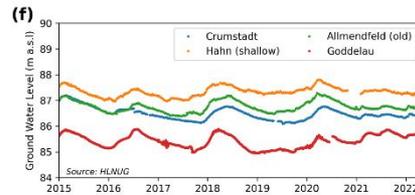
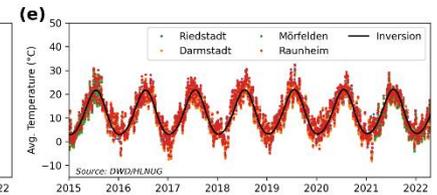
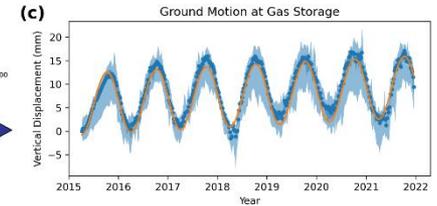
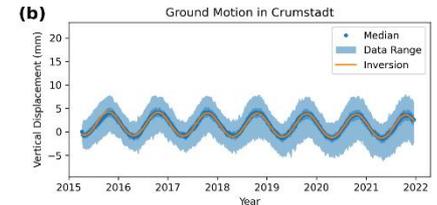
**Dataset:** Vertical  
**Point ID:** Average of 131 points  
**Position:** 2967684.35 N 4213854.58 E 91.94 m  
**Mean velocity:** -1.14 mm/year  
**RMSE:** 1.72 mm



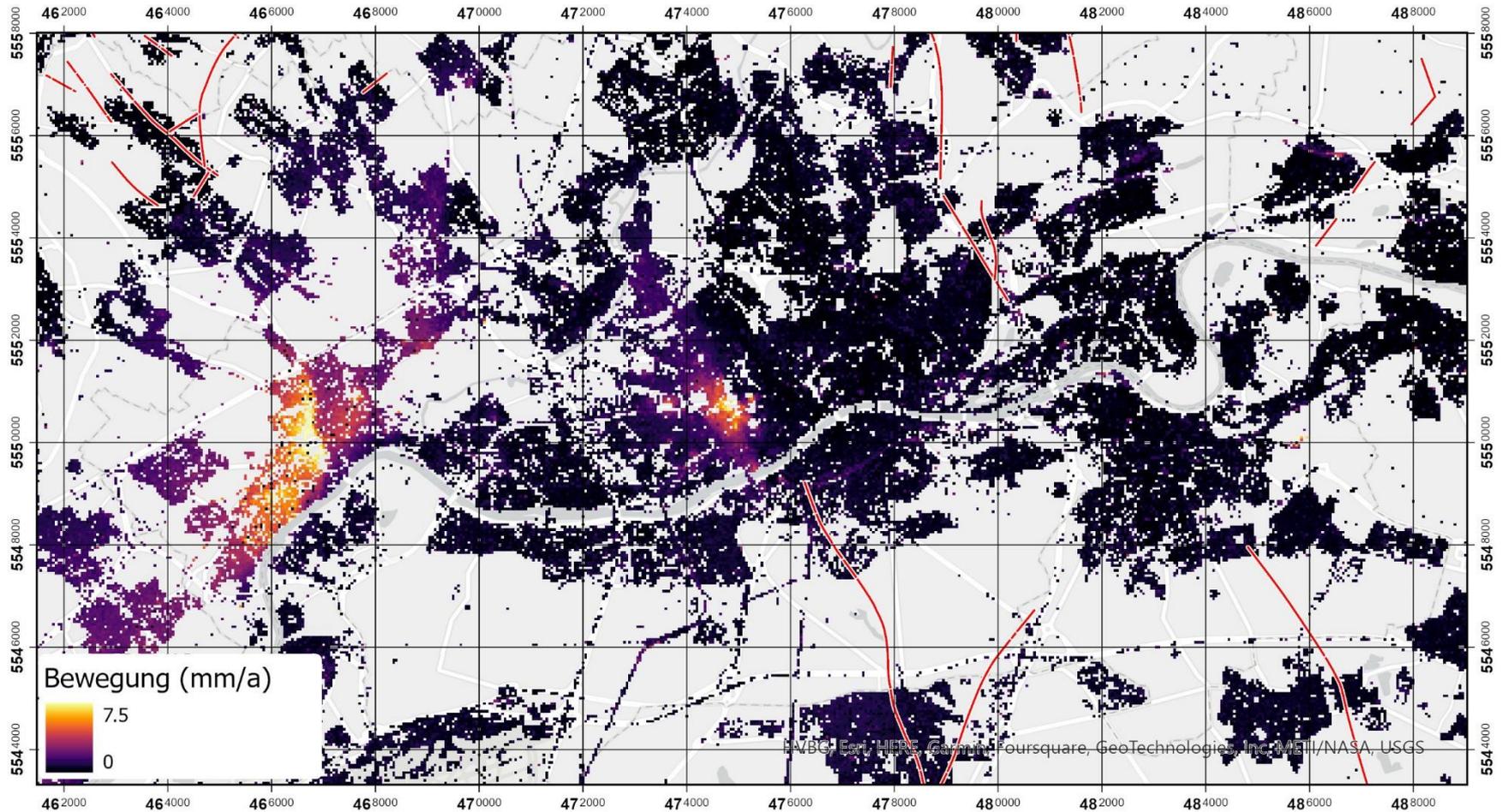
- Vertrauenswürdigkeit BBD

Daten?

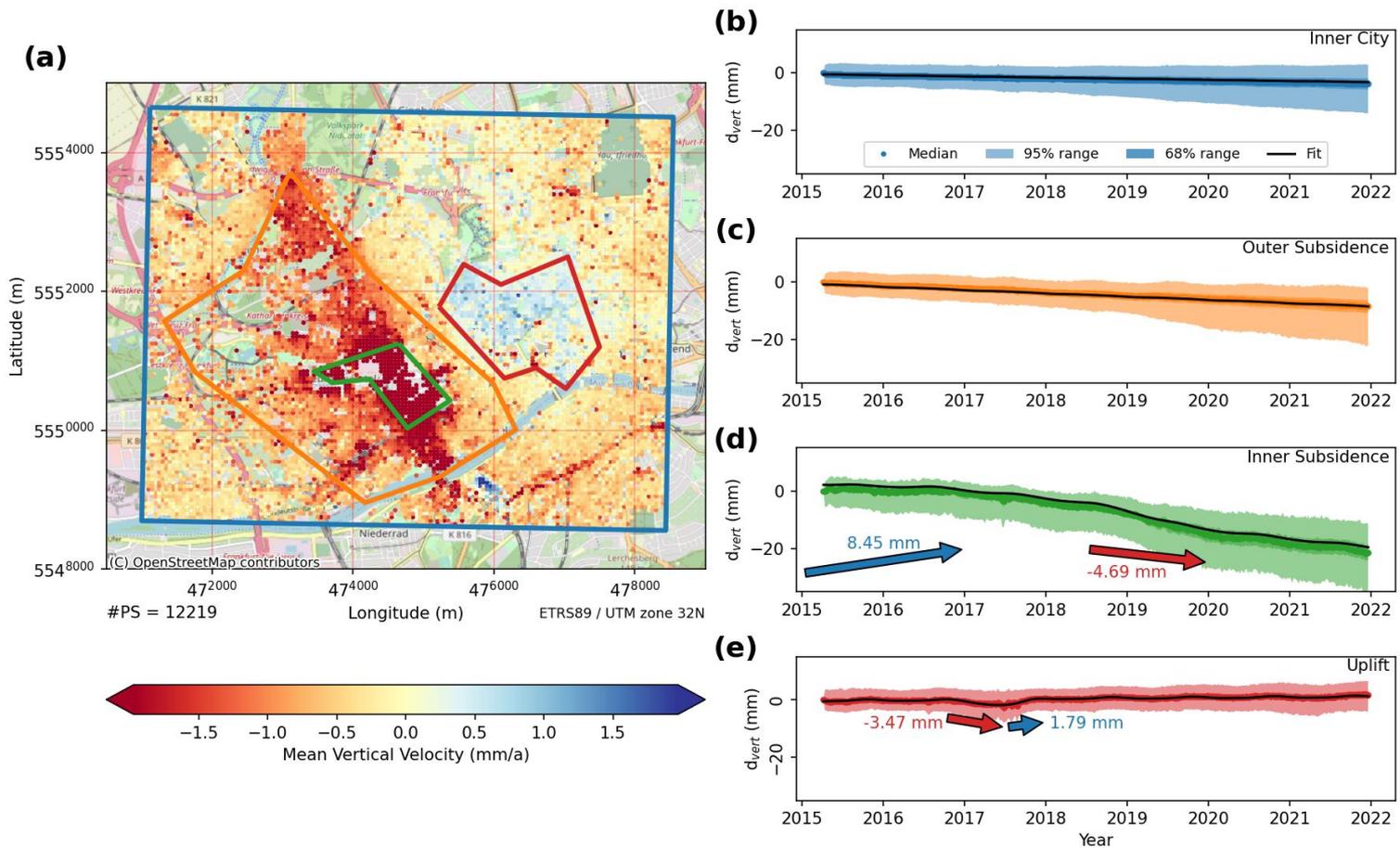
- Vergleich mit EGMS zeigt Abweichungen.



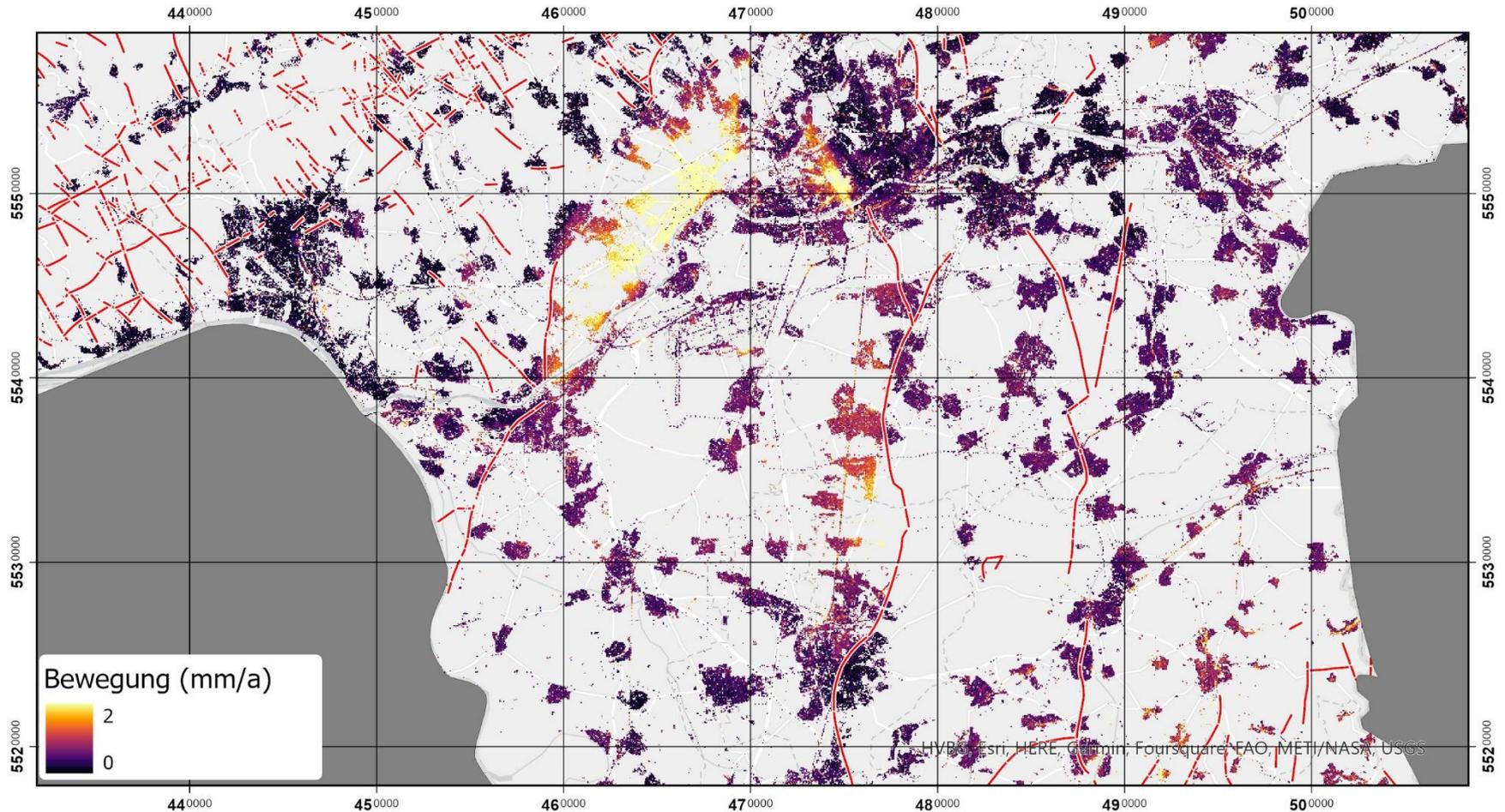
# Fallbeispiel Frankfurt Linearität



# Fallbeispiel Frankfurt Details



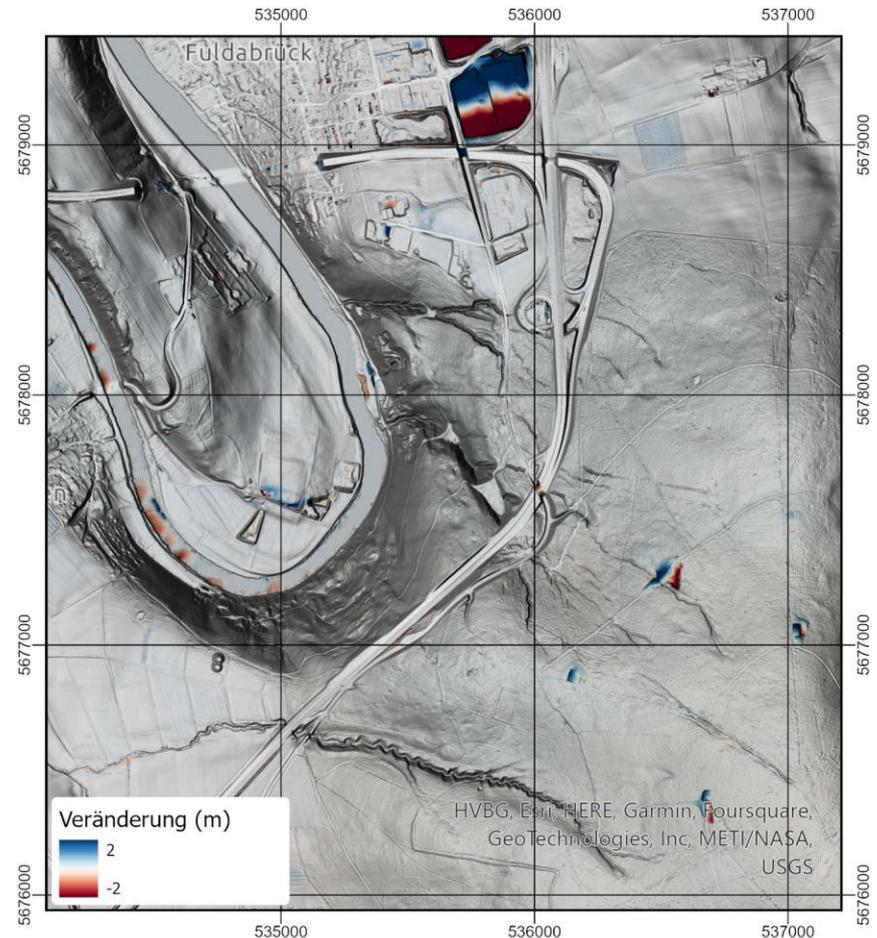
# Andere Fallbeispiele Neotektonik?



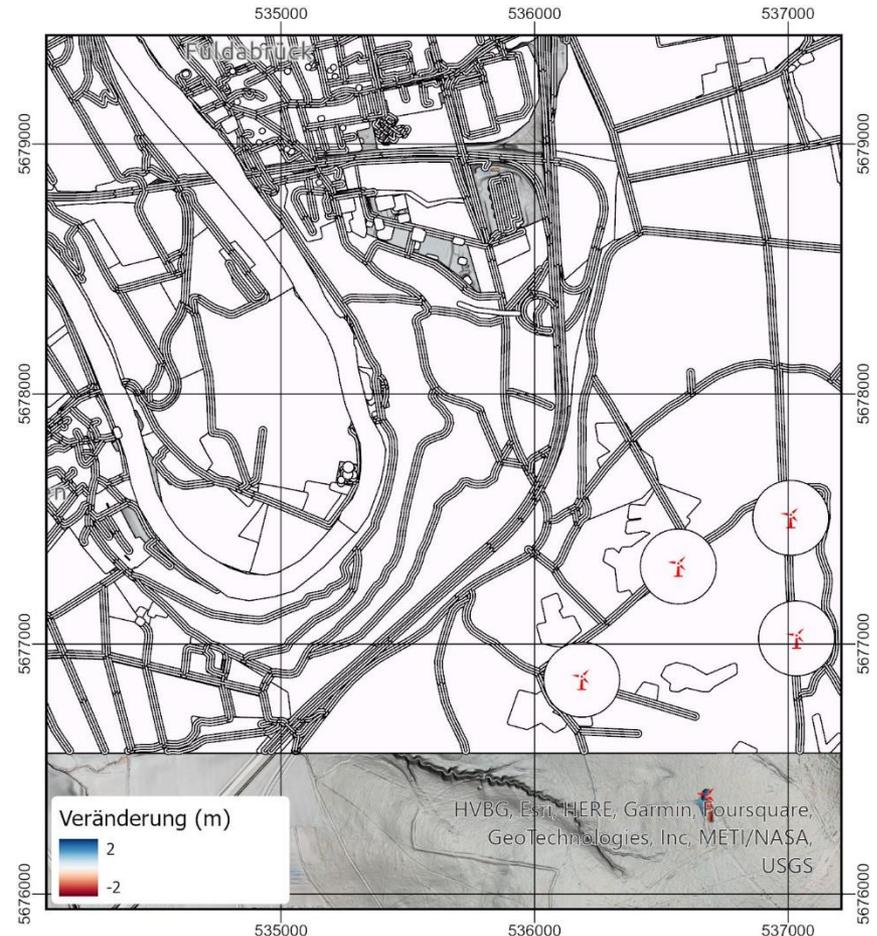
Ingenieurgeologie – TU Darmstadt

# BEWEGUNGSATLAS MITTELS LIDAR DATEN

- Hochauflösendes DEM/DTM
- Differenzen zwischen zwei Zeitpunkten
- Verschiedene Ursachen:
  - Artefakte (Gebäude, Gewässer)
  - Rauschen (Bäume, Vegetation)
  - Baustellen, Erdarbeiten
  - Hangrutschungen, Flussmäander
- Maskierung und Filterung
  - Flächengröße, Magnitude
  - Entfernung vieler Artefakte
- Wenige Detektionen übrig

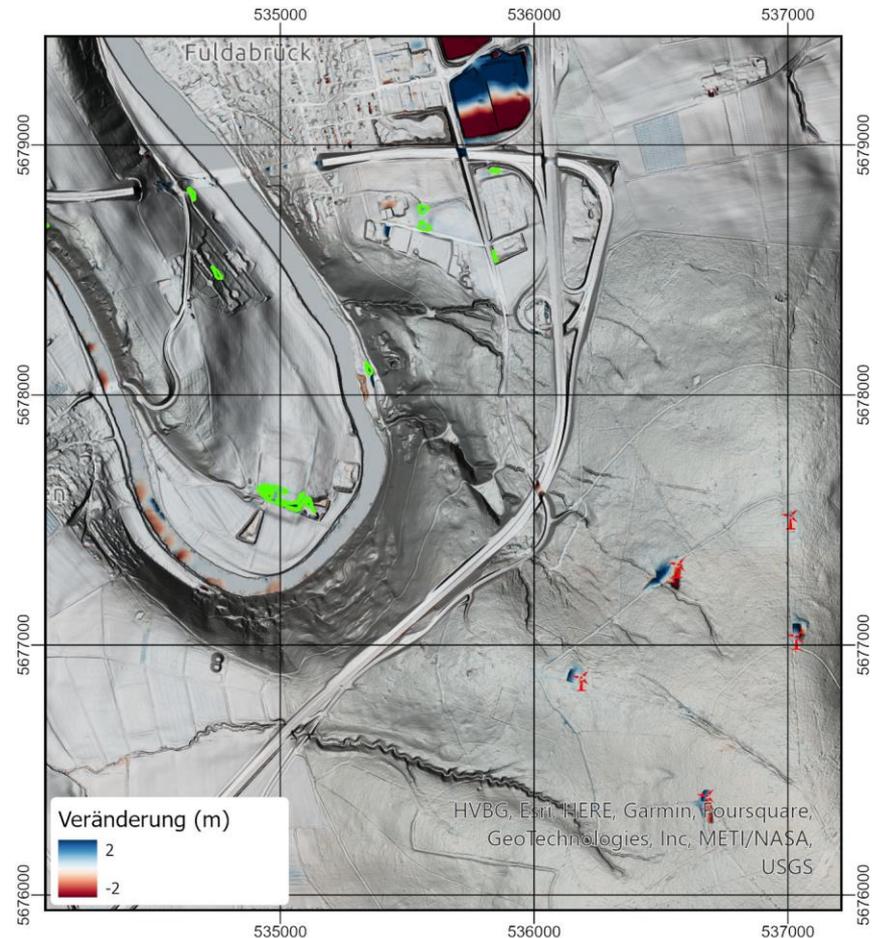


- Hochauflösendes DEM/DTM
- Differenzen zwischen zwei Zeitpunkten
- Verschiedene Ursachen:
  - Artefakte (Gebäude, Gewässer)
  - Rauschen (Bäume, Vegetation)
  - Baustellen, Erdarbeiten
  - Hangrutschungen, Flussmäander
- Maskierung und Filterung
  - Flächengröße, Magnitude
  - Entfernung vieler Artefakte
- Wenige Detektionen übrig

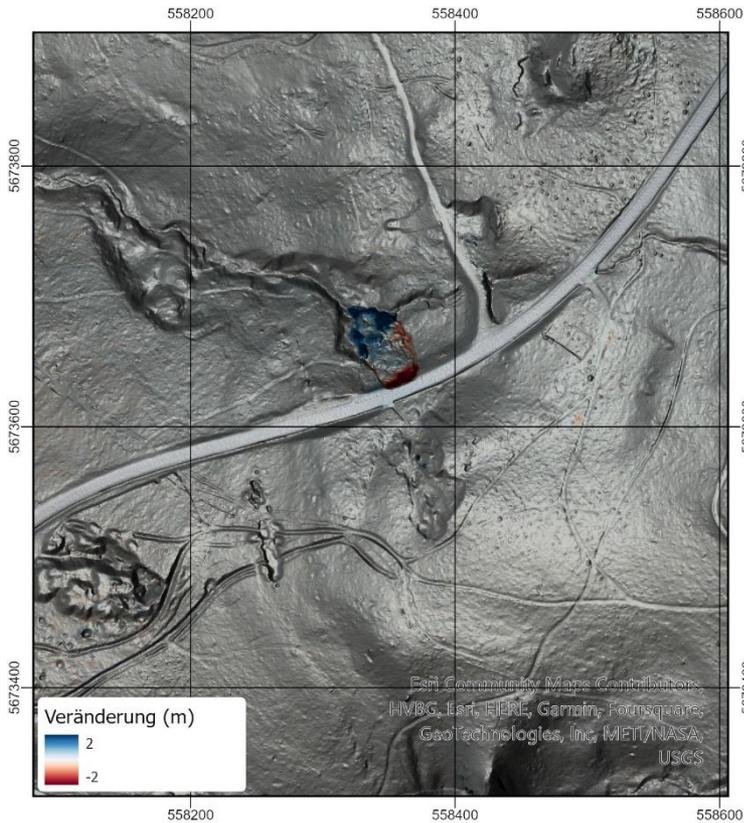


# Semi-Automatische Klassifikation der LiDAR Differenzenpläne (3)

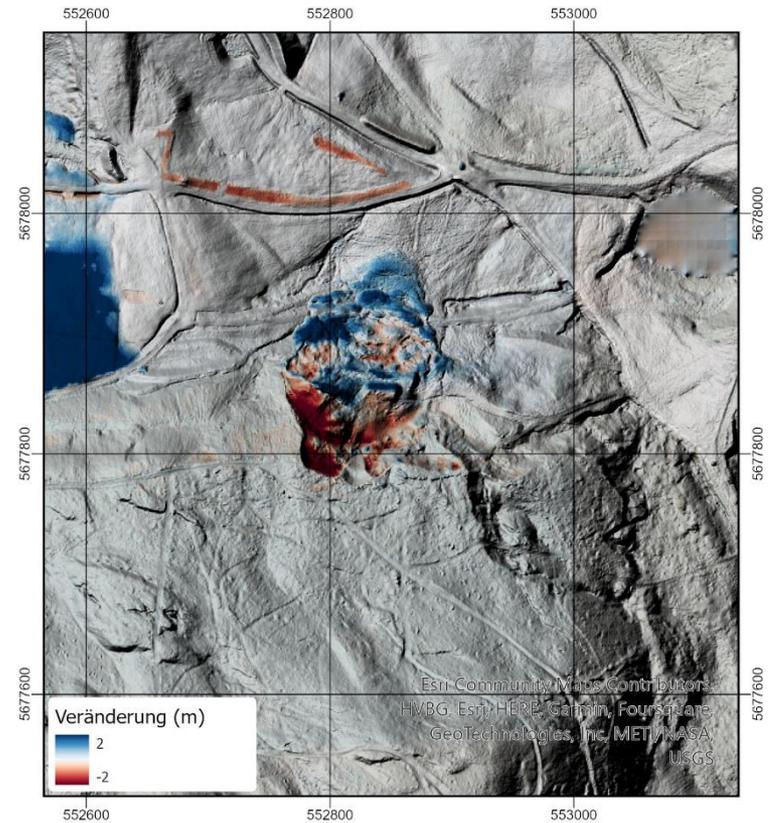
- Hochauflösendes DEM/DTM
- Differenzen zwischen zwei Zeitpunkten
- Verschiedene Ursachen:
  - Artefakte (Gebäude, Gewässer)
  - Rauschen (Bäume, Vegetation)
  - Baustellen, Erdarbeiten
  - Hangrutschungen, Flussmäander
- Maskierung und Filterung
  - Flächengröße, Magnitude
  - Entfernung vieler Artefakte
- Wenige Detektionen übrig



## Hausen – Hoher Meissner

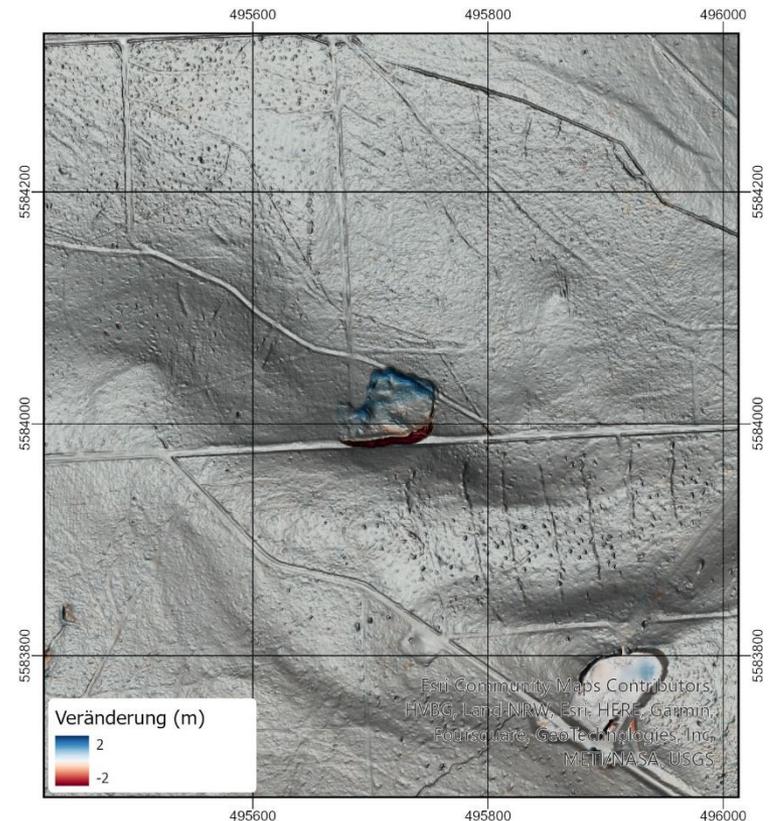


## N-Hirschberg Großalmerode



- Unterschiedliche geologische Gegebenheiten:
  - Hausen, Hoher Meißner:
    - Basaltdiluvium am Rand der Meißner Braunkohle
  - Großalmerode:
    - Fließerden am Rand von ehem. Braunkohletagebauanlagen
  - Nidda:
    - Solifluktion an der Grenze von Tertiären Basalten und Tuffe
- Unterschiedliche Morphologie
  - Schwierige Automatisierung
  - Auftreten häufig entlang von Infrastruktur
- Kriterienkatalog notwendig

## Wannkopf/Grebenberg - Nidda



# 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



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



© Digitaler/Heibel



Für eine lebenswerte Zukunft