



# Monitoring im Klimawandel – Öffentliche Beteiligung im Kavernenfeld Gronau-Epe

Für die Forschungs Kooperation Epe:

Tobias Rudolph<sup>1</sup>, Peter Goerke-Mallet<sup>1</sup>, Andreas Mütterthies<sup>2</sup>,

und

Andre Homölle<sup>4</sup>, Holger Perrevort<sup>3</sup>, Sebastian Teuwsen<sup>2</sup>, Chia-Hsiang Yang<sup>2</sup>

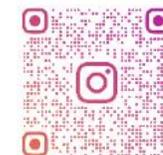
<sup>1</sup> Forschungszentrum Nachbergbau – Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

<sup>2</sup> EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Münster

<sup>3</sup> Bürgerinitiative Kavernenfeld Epe e.V.

<sup>4</sup> Stadt Gronau (Westf.)

23. November 2023



DR.TOBIAS.RUDOLPH

[tobias.rudolph@thga.de](mailto:tobias.rudolph@thga.de)

[www.thga.de](http://www.thga.de)

[www.nachbergbau.org](http://www.nachbergbau.org)

[www.monitoring-epe.de](http://www.monitoring-epe.de)

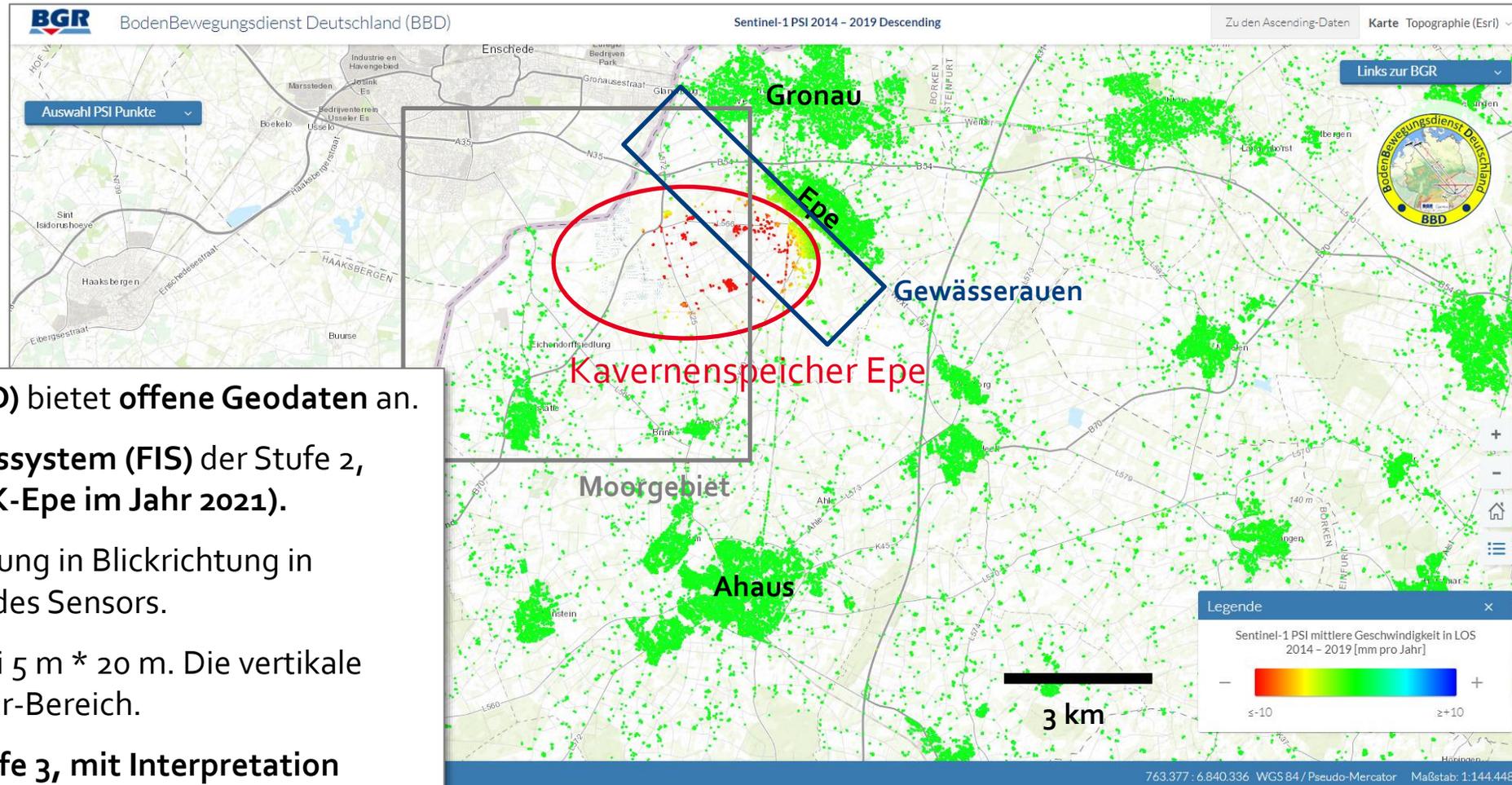
# Ist das hier nicht schön?



## Ist das hier nicht schön? – Also wo ist das Problem?



# Es gibt Bodenbewegungen! Seit 1975!



Der **Bodenbewegungsdienst (BBD)** bietet **offene Geodaten** an.

Der BBD war ein **Fachinformationssystem (FIS)** der Stufe 2, **ohne Interpretation (Stand vor FK-Epe im Jahr 2021)**.

Der Satellit misst die Bodenbewegung in Blickrichtung in Blickrichtung (Line-of-sight, LOS) des Sensors.

Die räumliche Genauigkeit liegt bei 5 m \* 20 m. Die vertikale Genauigkeit liegt im sub-Dezimeter-Bereich.

**Aktuell** ist der **BBD** ein FIS der **Stufe 3, mit Interpretation**

**Der Bodenbewegungsdienst stellt die Messungen in Blickrichtung (LOS) und vertikal/E-W dar!**

Bodenbewegungsdienst Deutschland (BBD) für den Zeitraum 11.2014 bis 4.2019 vom Stand 10.2021 nach der Methode Persistent Scatterer-Interferometry, Absteigende Überfliegung

# Sachstand Bodenbewegung am Kavernenspeicher Epe

- Produktspeicherung seit 1975 (Erdöl, Erdgas, Helium, Sole, (perspektivisch Wasserstoff))
- Ölleckage und Sanierung in 2014-2016
- Ausschusssitzung am 25. September 2018 zu Bodenbewegungen durch den Markscheider der SGW
- Ausschusssitzung am 17. August 2020 durch den Kreis Borken („Golfballoberfläche oberhalb der Kavernen“)
- WDR2 Radio 8. Oktober 2020 und WDR Lokalzeit Münsterland am 16. Oktober 2020, Rat der Stadt Gronau beschließt eigene Messungen mittels Radarinterferometrischen Methoden

Ausschuss für Verkehr, Umwelt, Energie und Tierschutz, 19. Sitzung - Stadt Gronau, 25.09.2018 **Bergsenkungen im Kavernenfeld Epe**

- Monitoring bergbaulicher Auswirkungen
  - Nivellement/Lagemessungen, Gebäudemonitoring, Grundwasser
- Einwirkung auf Leitungsintegrität und sonstige Anlagen

1

Salzgewinnungs-Gesellschaft Westfalen

**Bodenbewegung im Bereich der SGW in Gronau - Epe**

17.08.2020 Ausschuss für Verkehr, Energie und Tierschutz der Stadt Gronau

Karl-Peter Theis Fachbereich 62: Geoinformation und Liegenschaftskataster

WEST MÜNSTERLAND KREIS BORKEN

WDR

WDR aktuell

Die Stadt Gronau will mit Satellitendaten herausfinden, wie stark der Boden über den Salz-Kavernen in Epe abgesackt ist. Das hat der Rat am Mittwoch einstimmig beschlossen.

Neue Studie zu Bodenabsenkungen in Epe

Bereits seit Ende der 90er Jahre gibt es Satellitendaten zu Bodenabsenkungen. Um diese Daten nun speziell für das Kavernenfeld in Epe auswerten, hat der Stadtrat jetzt 65.000 Euro bewilligt.

WDR aktuell bei Telegram und beim Facebook Messenger | mehr

# Was bedeuten Bodenbewegungen

## Natürliche Ursachen (u.a.):

- Wassergehalt des (Erd-)Bodens
- Schwanken des Grundwasserspiegels
- Unterirdische Abtragung von Kalk, Gips und Salz (Subrosion)
- Tektonische Ereignisse (Erdbeben)
- Temperaturschwankungen
- Pflanzenwachstum (Wurzelhebung)
- Eiszeitliche Ausgleichsbewegungen

## Anthropogene Ursachen (u.a.):

- Wassergewinnung
- Bergbau
  - Steinkohle
  - Salzbergbau unter Tage
  - Erzbergbau
  - Erdgasgewinnung (Erdölgewinnung)
  - Kavernen
  - Untergrundspeicherung

Die Auswirkungen der Bodenbewegungen (z. B. auf Gebäude, Infrastruktur) wird wesentlich durch die Geschwindigkeit der Bewegung beeinflusst.

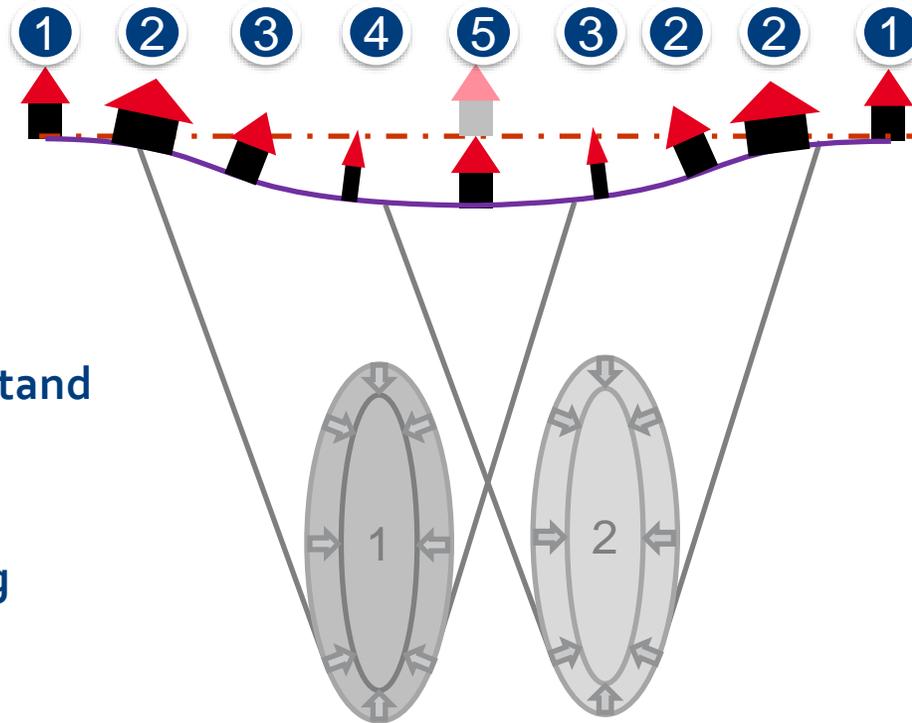
## Senkungsgeschwindigkeiten (Bsp.):

- Steinkohlenbergbau: 2 cm/Tag
- Speicher-Kavernen: 2 cm/Jahr



**Bodenbewegungen im Kavernenfeld:  
Langsamer und kontinuierlicher Prozess**

# Das Modell der Bodenbewegungen über Kavernen



- 1 Normaler Zustand
- 2 Zerrung
- 3 Schiefstellung
- 4 Pressung
- 5 Senkung

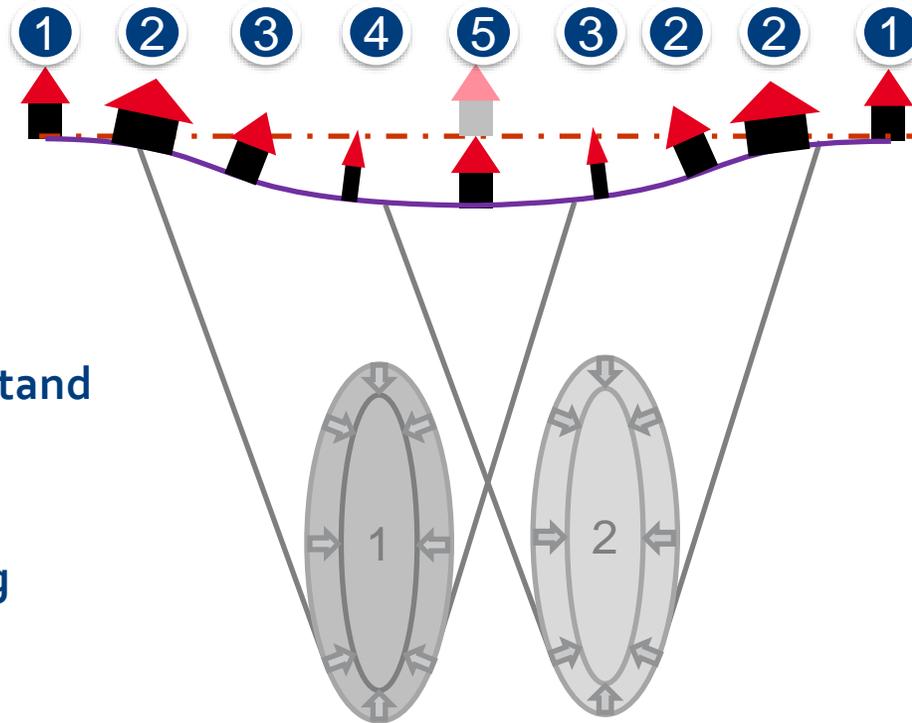
## Vertikale Bodenbewegungen

- Senkungen
- Schiefelage
- Krümmung

## Horizontale Bodenbewegungen

- Verschiebung
- Längenänderungen
  - Zerrung
  - Pressung

# Das Modell der Bodenbewegungen über Kavernen



- 1 Normaler Zustand
- 2 Zerrung
- 3 Schiefstellung
- 4 Pressung
- 5 Senkung

## Vertikale Bodenbewegungen

- Senkungen
- Schiefelage
- Krümmung

## Horizontale Bodenbewegungen

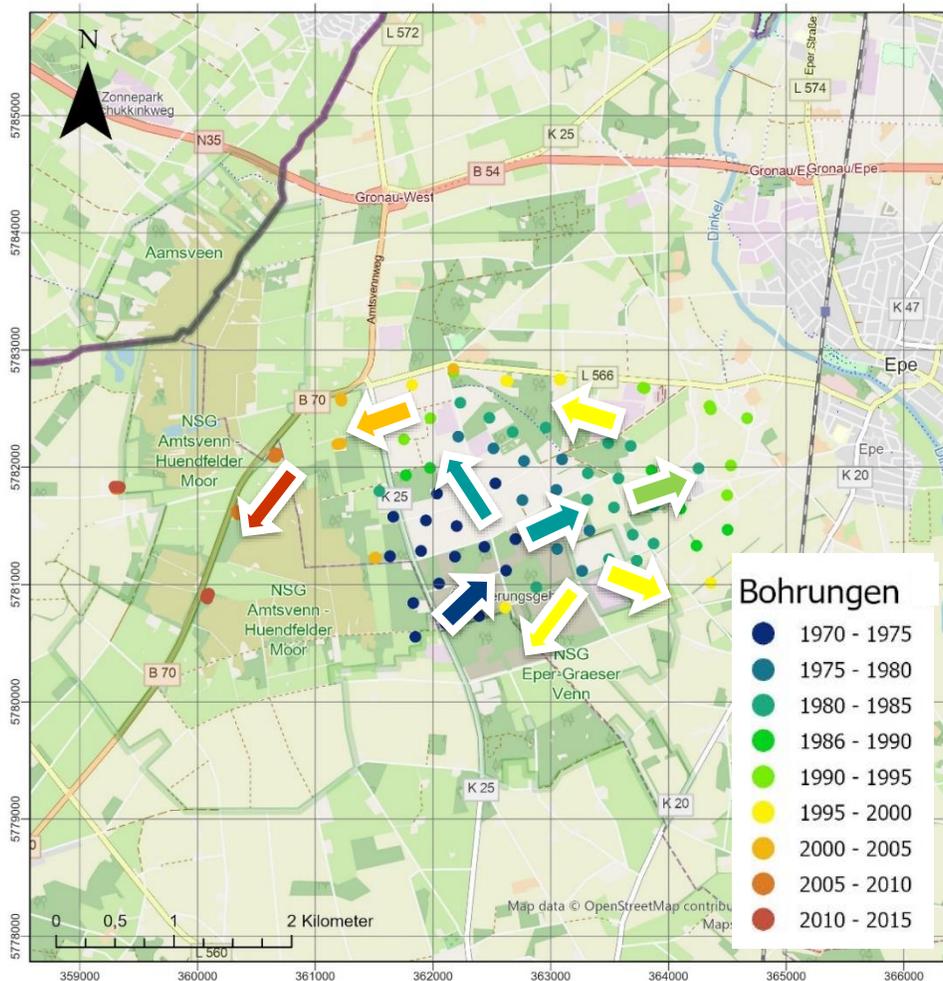
- Verschiebung
- Längenänderungen
  - Zerrung
  - Pressung

## Aktive und fortlaufende Methoden der Überwachung

1. Nivellement  
(SGW Markscheider)
2. GNSS-Messungen  
(GeoBasis NRW)
3. Radarinterferometrie  
(diese Forschungs Kooperation)

Es ist ein langsam laufender und kontinuierlicher Prozess!

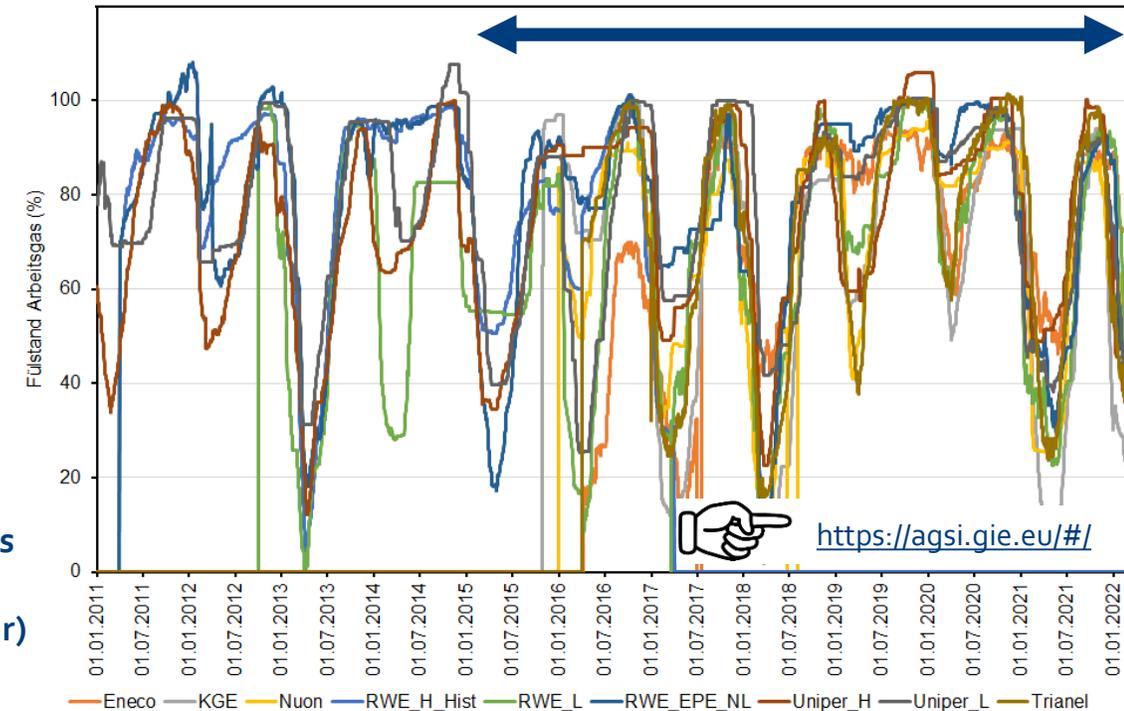
# Zeitliche Entwicklung der Bohrungen und Kavernenfüllstände



Arbeitsgas voll  
(~200 bar)

Arbeitsgas leer  
(~80-90 bar)

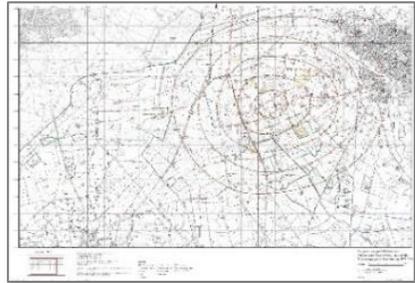
Bearbeitungszeitraum Forschungsk Kooperation Epe  
in der Phase 1 (2021-2023)



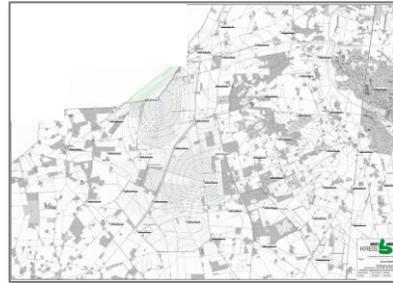
- Die Füllstände des Speicher sind Verbrauch(er) abhängig! (u.a. Wetter/ Temperatur, Gasverfügbarkeit, Krisen)
- „Arbeitsgas = leer“ bedeutet nicht „Speicher = gas-leer“!
- Keine einfache Prognose möglich!

# Das A und O: Auswertung und Fusion öffentlicher Geodaten

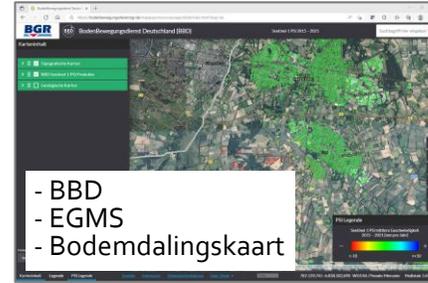
**A: Höhenfestpunktriss**



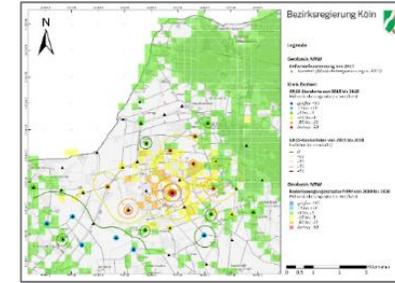
**B: Nivellement**



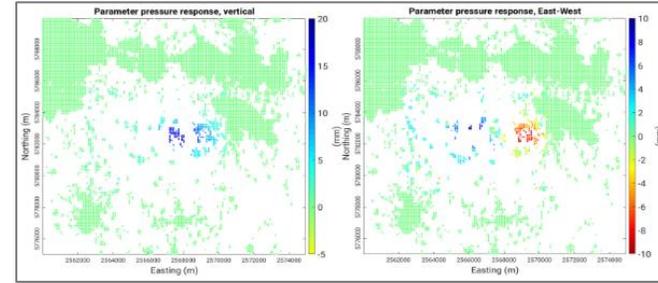
**C: Bodenbewegungsdienste**



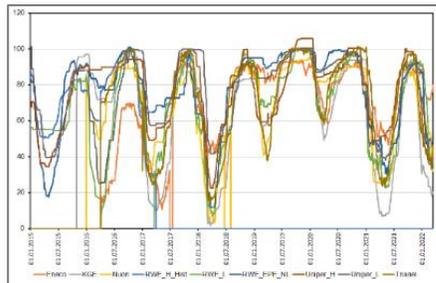
**D: GNSS-Messung**



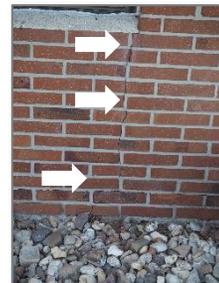
**E: Bodenbewegungen (Forschung)**



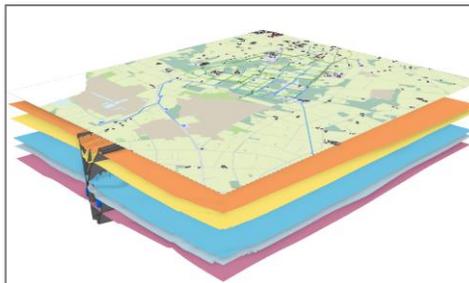
**F: Füllstände von Speichern**



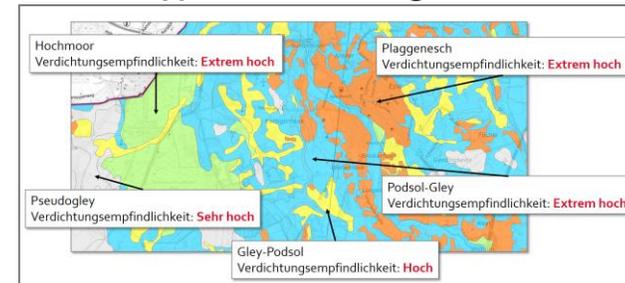
**G: Gebäude**



**H: 3D-Untergrundanalyse**



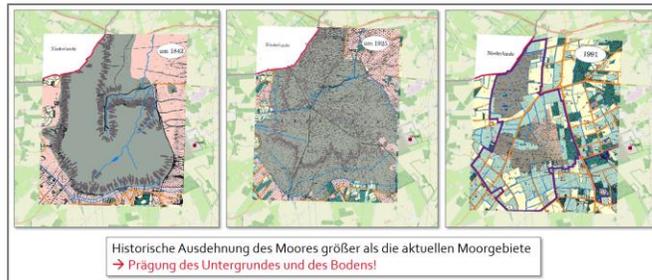
**I: Bodentypen und Setzungen**



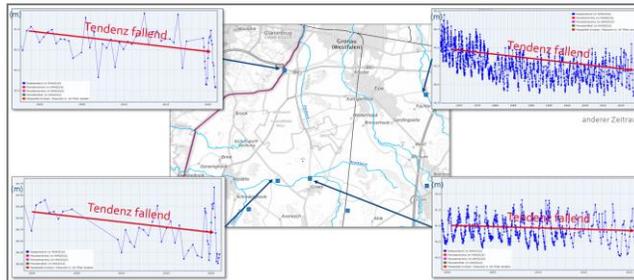
**J: Setzungsempfindlichkeit**



**K: Ausbreitung des Mooregebietes**



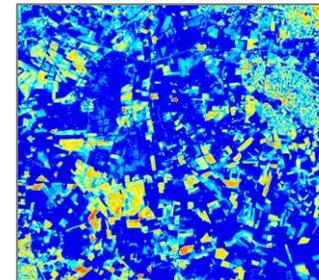
**L: Schwankungen des Grundwassers**



**M: Hydrologie**



**N: Bodenfeuchte**



**O: Hochwasseranalysen**

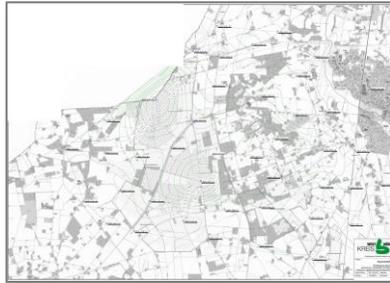


# Das A und O: Auswertung und Fusion öffentlicher Geodaten

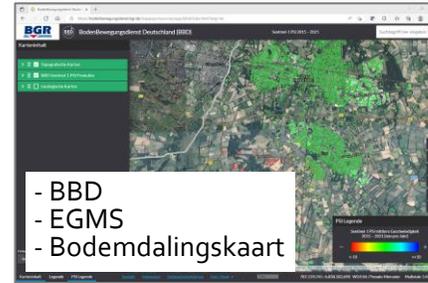
**A: Höhenfestpunktriss**



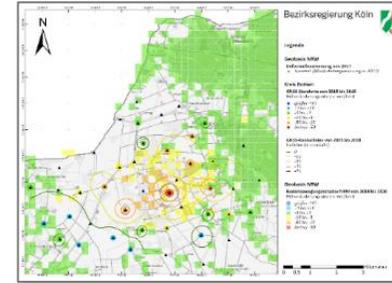
**B: Nivellement**



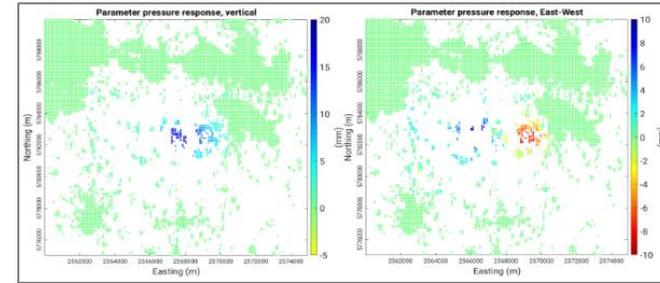
**C: Bodenbewegungsdienste**



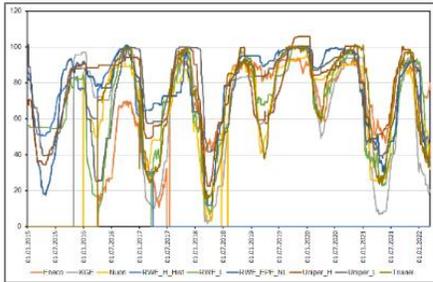
**D: GNSS-Messung**



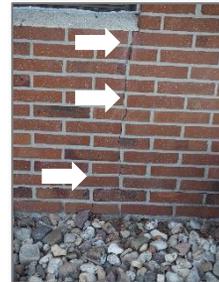
**E: Bodenbewegungen (Forschung)**



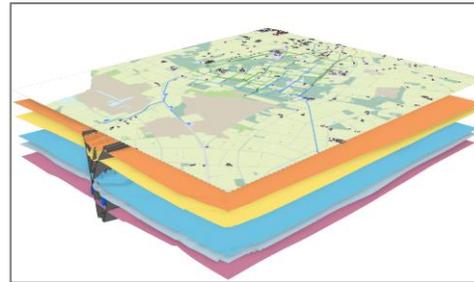
**F: Füllstände von Speichern**



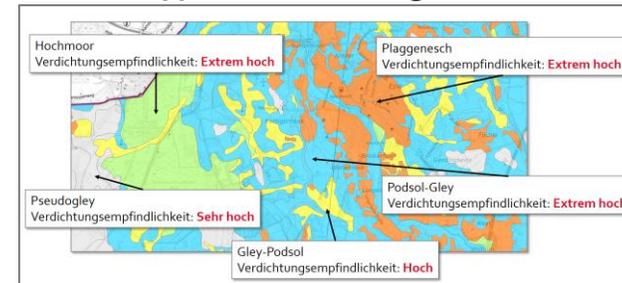
**G: Gebäude**



**H: 3D-Untergrundanalyse**



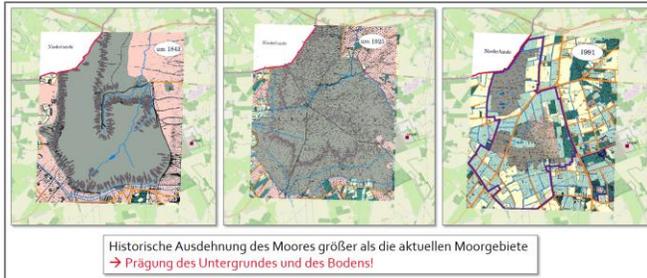
**I: Bodentypen und Setzungen**



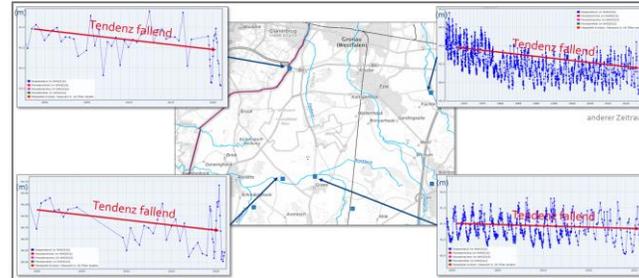
**J: Setzungsempfindlichkeit**



**K: Ausbreitung des Mooregebietes**



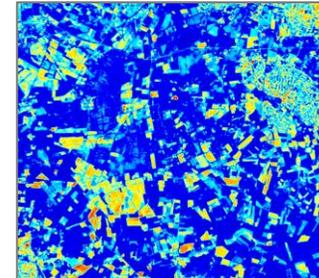
**L: Schwankungen des Grundwassers**



**M: Hydrologie**



**N: Bodenfeuchte**



**O: Hochwasseranalysen**



➔ Grundlage für die Radar-Fernerkundung



Ausschuss MUK 15.6.2021



Bergschadenbefahrung 8.9.2021



Forschungskooperation 23.7.2021



Fahradexkursion 15.8.2022



3 Informationsveranstaltungen  
8.4.2022, 10.6.2022, 9.9.2022



Amtsvenn 17.9.2021



3 Studierende Exkursionen 2021/2022



Monatliche Befahrungen 2021/2022



Ausschuss MUK 15.6.2021



Bergschadenbefahrung 8.9.2021



Forschungskooperation 23.7.2021



Fahradexkursion 15.8.2022



3 Informationsveranstaltungen  
8.4.2022, 10.6.2022, 9.9.2022



[www.monitoring-epe.de](http://www.monitoring-epe.de)



Amtsvenn 17.9.2021



3 Studierende Exkursionen 2021/2022



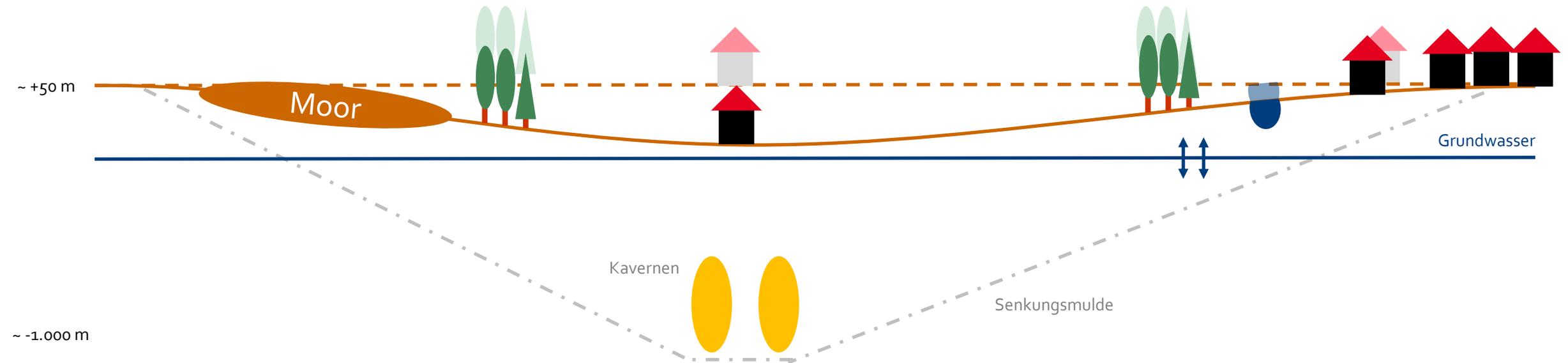
Monatliche Befahrungen 2021/2022

# Vergleich der Methoden der Radar-Fernerkundung

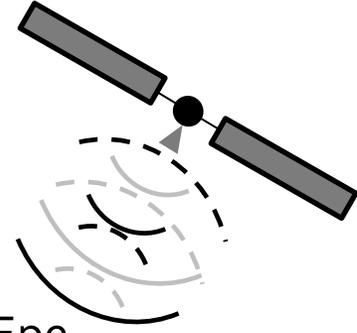
Amtsvenn

Kavernenfeld

Epe



# Vergleich der Methoden der Radar-Fernerkundung



Amtsvenn

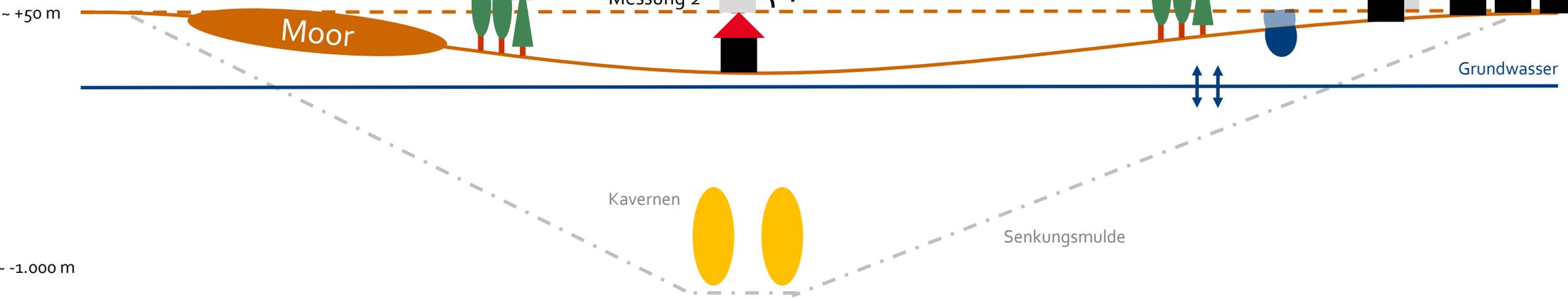
Keine festen Rückstreuer

Kavernenfeld

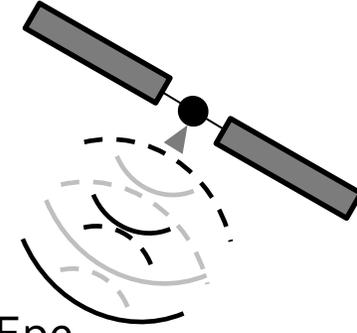
Wenige feste Rückstreuer

Epe

Viele feste Rückstreuer



# Vergleich der Methoden der Radar-Fernerkundung



Amtsvenn

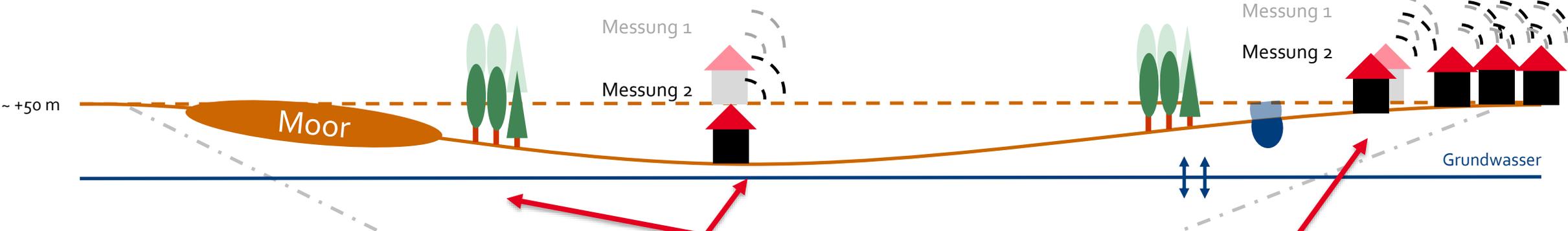
Keine festen Rückstreuer

Kavernenfeld

Wenige feste Rückstreuer

Epe

Viele feste Rückstreuer



	Flächen Methode (SBAS = Small Baseline Subset)	Punkt Methode (PSI = Persistent Scatterer Interferometry)
Flächige Auflösung	Niedrig (~15m * ~15m)	Hoch (< ~5m)
Darstellung	„Flächiges Pixel“	„Konstantes Element“
Eignung	Bebaute und unbebautes Gelände	Bebautes Gelände
Räumliche Abdeckung	Gebäude und unbewaldete Freiflächen	<u>Nur</u> Gebäude

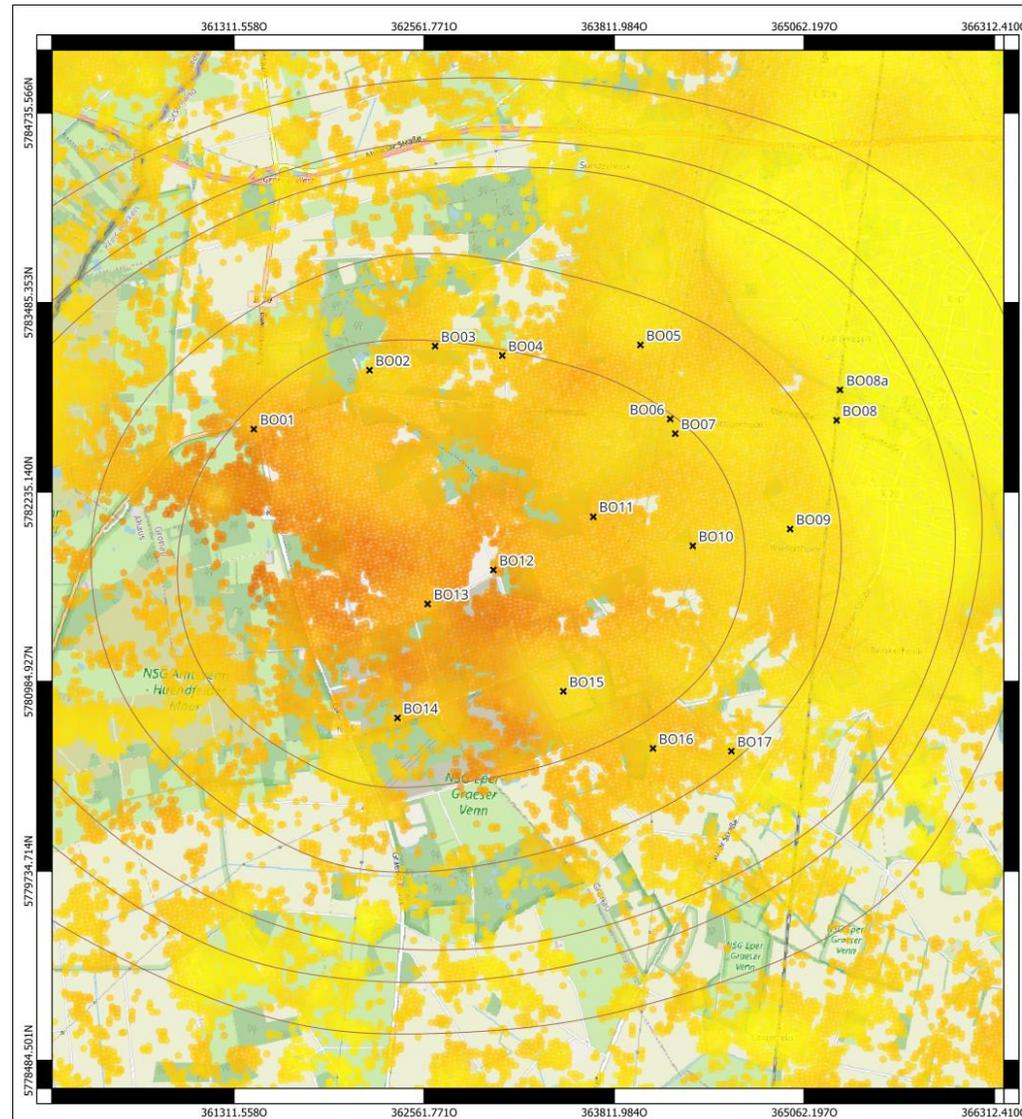
# Ergebnisse der Überwachung – Bewegungen der Tagesoberfläche im Kavernenfeld

Darstellung der Daten vom 12/2015 bis 12/2021

Bezugszeitraum  
Anfang 12/2015

Flächige Auswertung mittels der SBAS Methode und Kombination mit Ergebnissen der PSI-Methode

Darstellung der vertikalen Durchschnittsgeschwindigkeit in mm pro Jahr in den Jahren 2016 bis einschl. 2021



## Übersicht Punktwolke



### Legende

Vertikale Durchschnittsgeschwindigkeit



### Darstellung

Zur Darstellung wurde eine kontinuierliche Farbskala von rot (negativ) nach blau (positiv) verwendet. Es werden die einzelnen Datenpunkte dargestellt.

Dargestellt werden die SBAS Daten zwischen 2015 und 2021. Außerdem sind die ausgewählten Messpunkte mit einem x dargestellt und nummeriert. Isokatabasen aus SGW Risswerk von 2017

### Kartenprojektion

ETRS89 / UTM zone 32N  
Ellipsoid: GRS 1980

### Gesamtes Untersuchungsgebiet

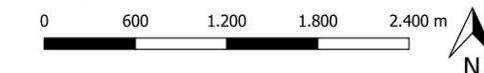


### Credits & Copyright

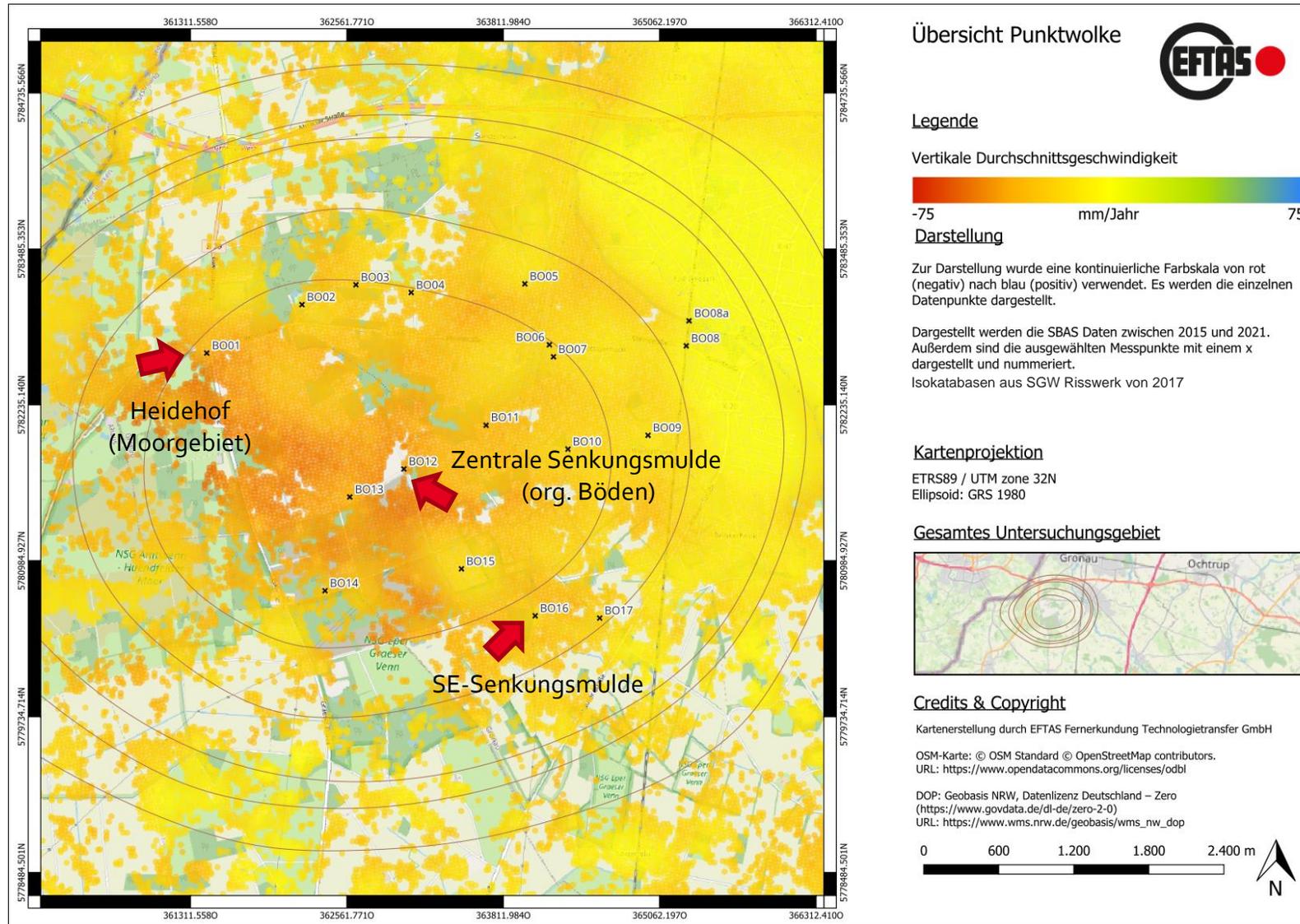
Kartenerstellung durch EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH

OSM-Karte: © OSM Standard © OpenStreetMap contributors.  
URL: <https://www.opendatacommons.org/licenses/odbl>

DOP: Geobasis NRW, Datenlizenz Deutschland – Zero  
(<https://www.govdata.de/dl-de/zero-2-0>)  
URL: [https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms\\_nw\\_dop](https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_dop)

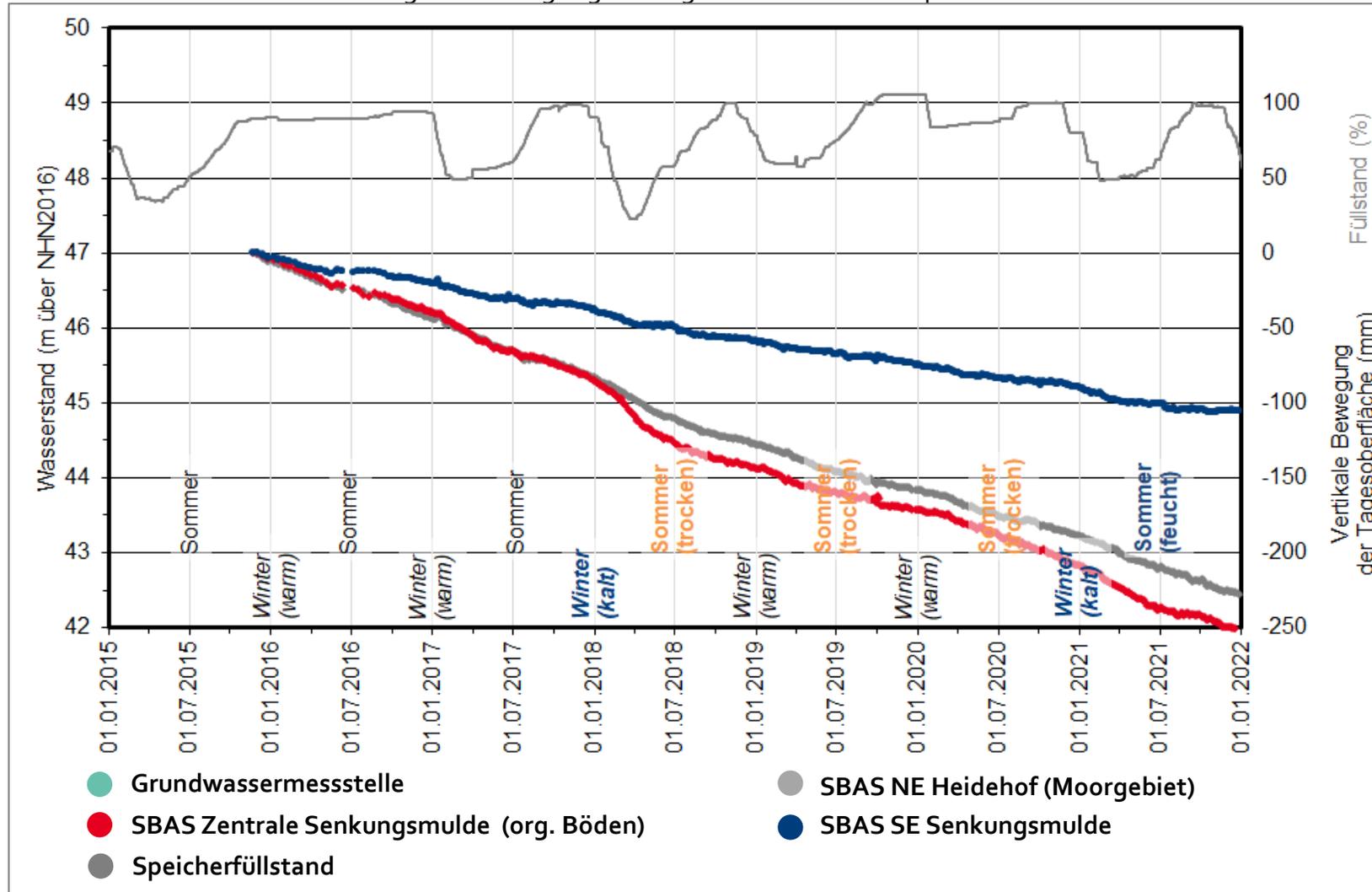


# Ergebnisse der Überwachung – Bewegungen der Tagesoberfläche im Kavernenfeld



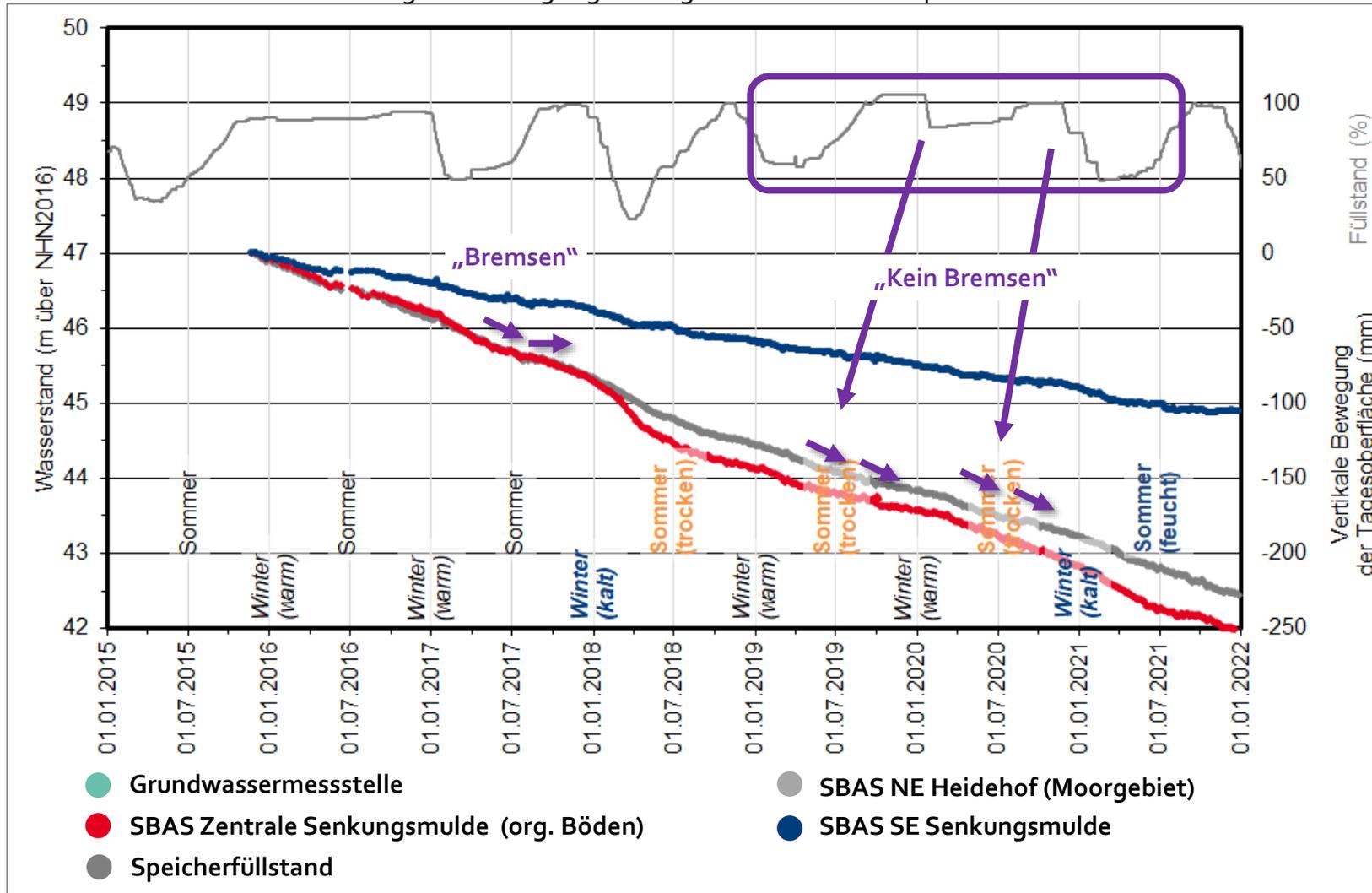
# Die Bodenbewegungen – Eine Interaktion zwischen einer Vielzahl von Faktoren

Darstellung von Bewegung der Tagesoberfläche und Speicherfüllstand



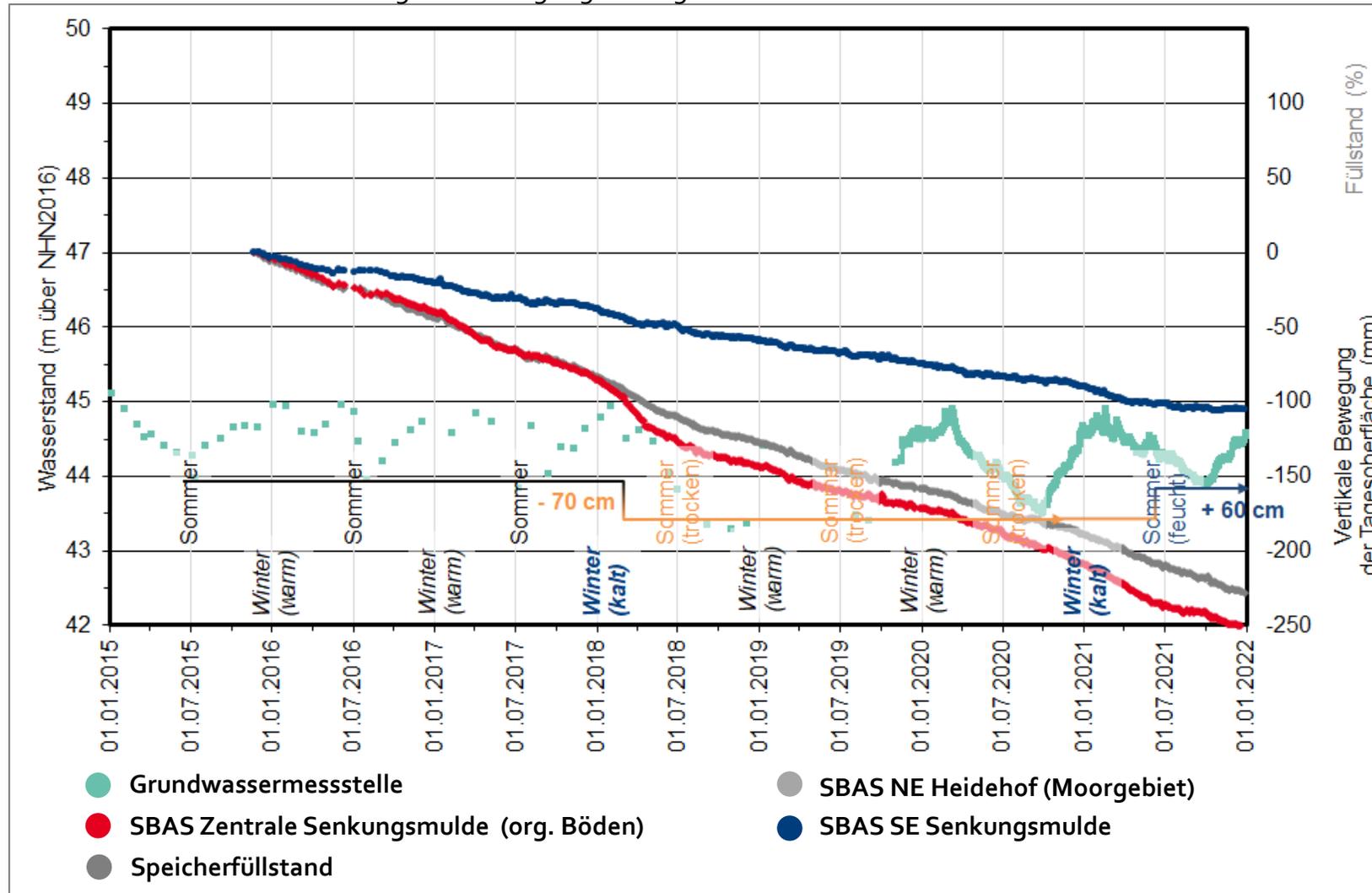
# Die Bodenbewegungen – Eine Interaktion zwischen einer Vielzahl von Faktoren

Darstellung von Bewegung der Tagesoberfläche und Speicherfüllstand



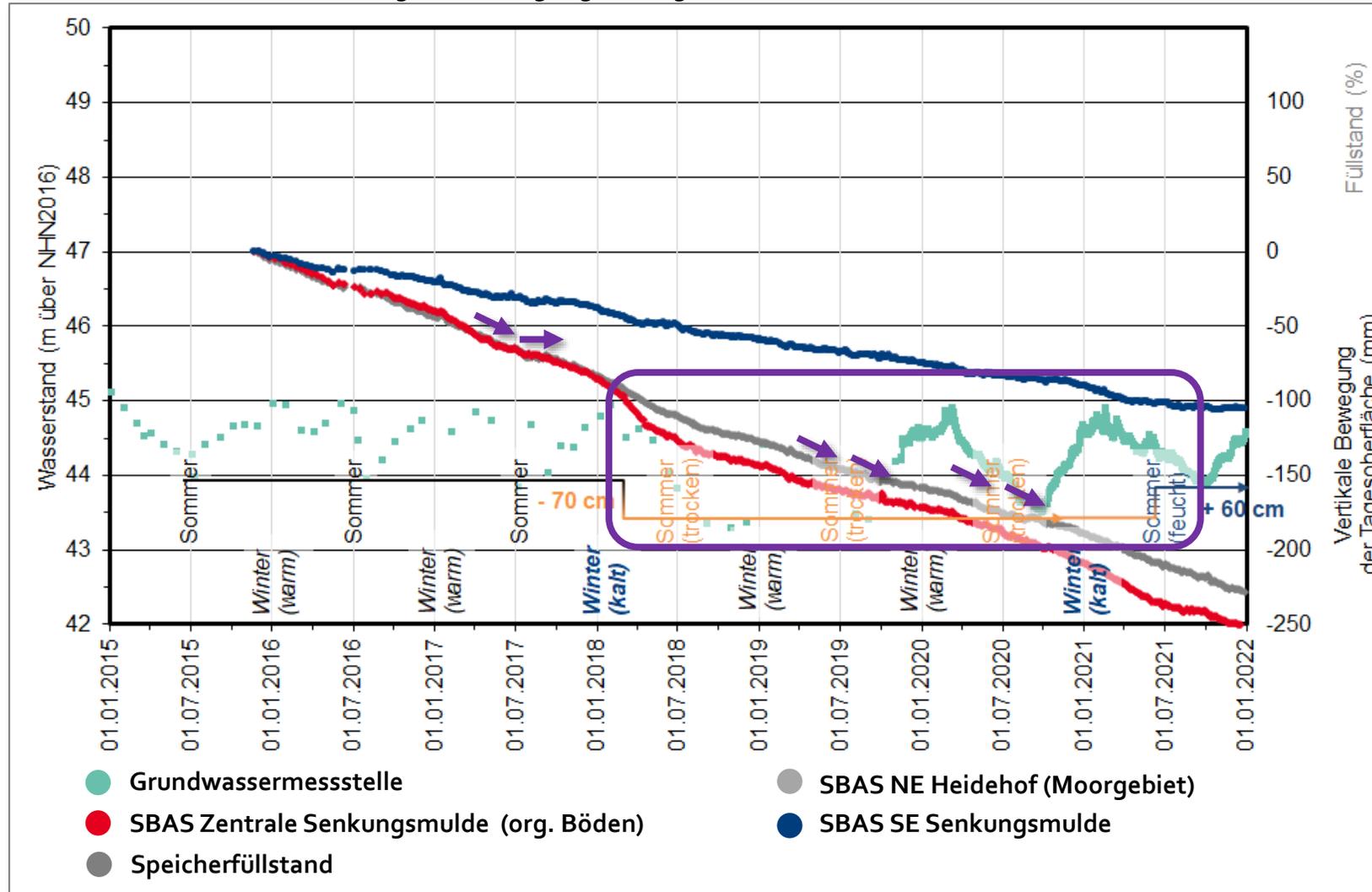
# Die Bodenbewegungen – Eine Interaktion zwischen einer Vielzahl von Faktoren

Darstellung von Bewegung der Tagesoberfläche und Grundwasserstand



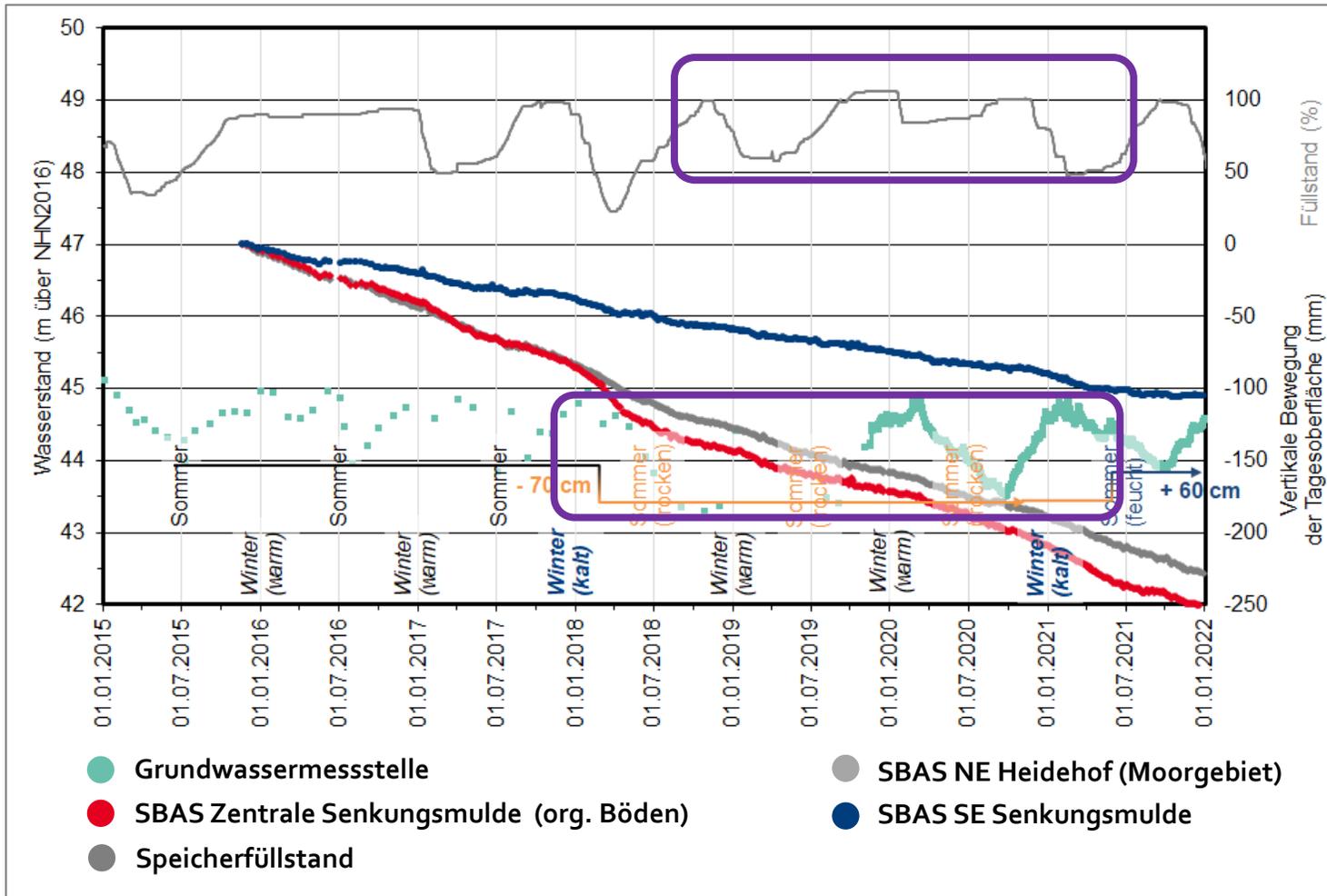
# Die Bodenbewegungen – Eine Interaktion zwischen einer Vielzahl von Faktoren

Darstellung von Bewegung der Tagesoberfläche und Grundwasserstand



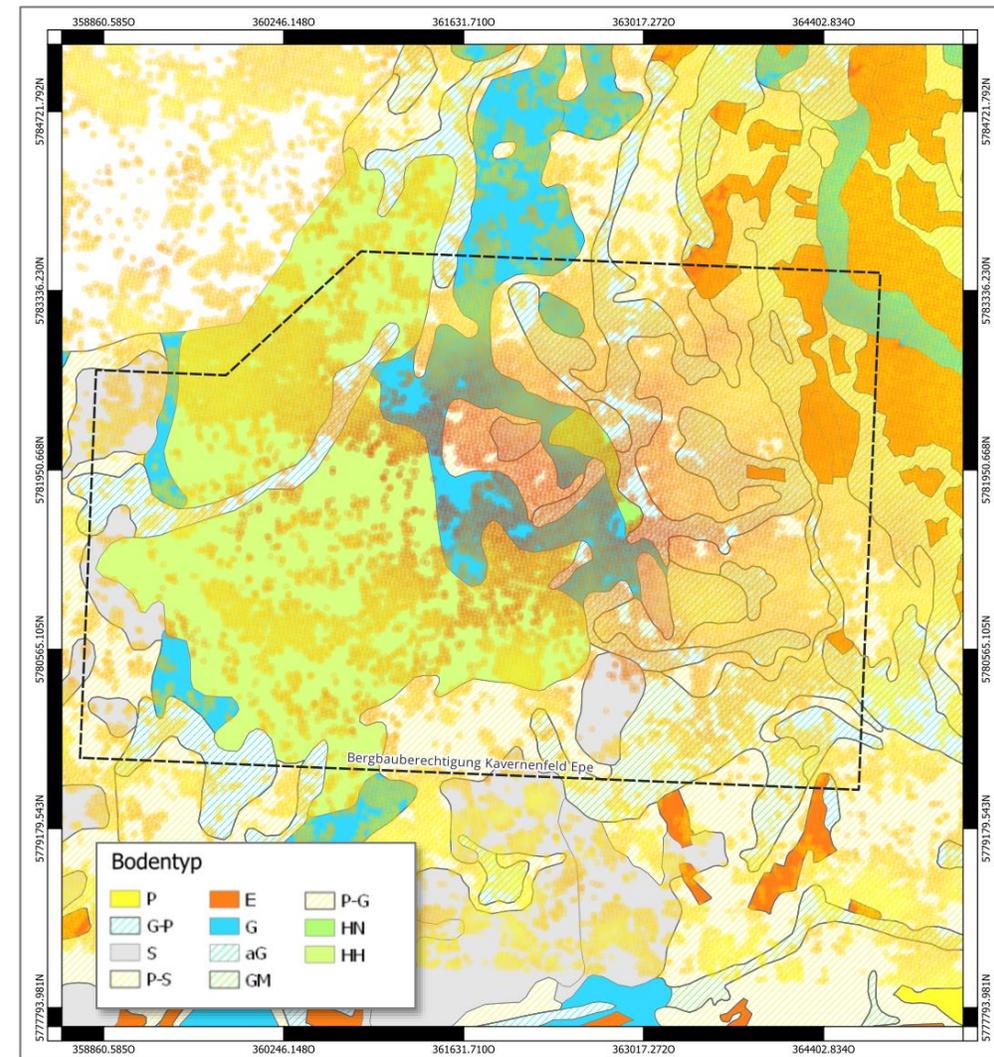
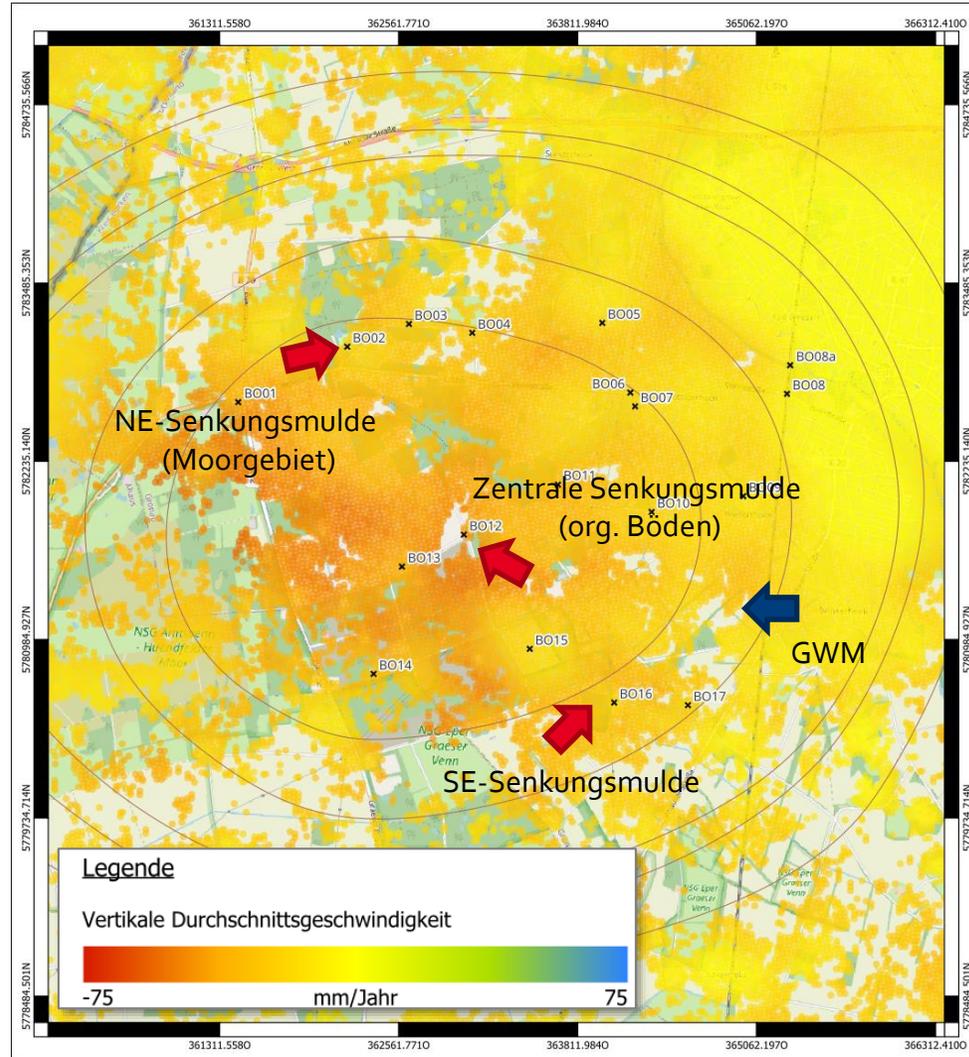
# Die Bodenbewegungen – Eine Interaktion zwischen einer Vielzahl von Faktoren

Darstellung von Bodenbewegung, Speicherfüllstand und Grundwasserstand

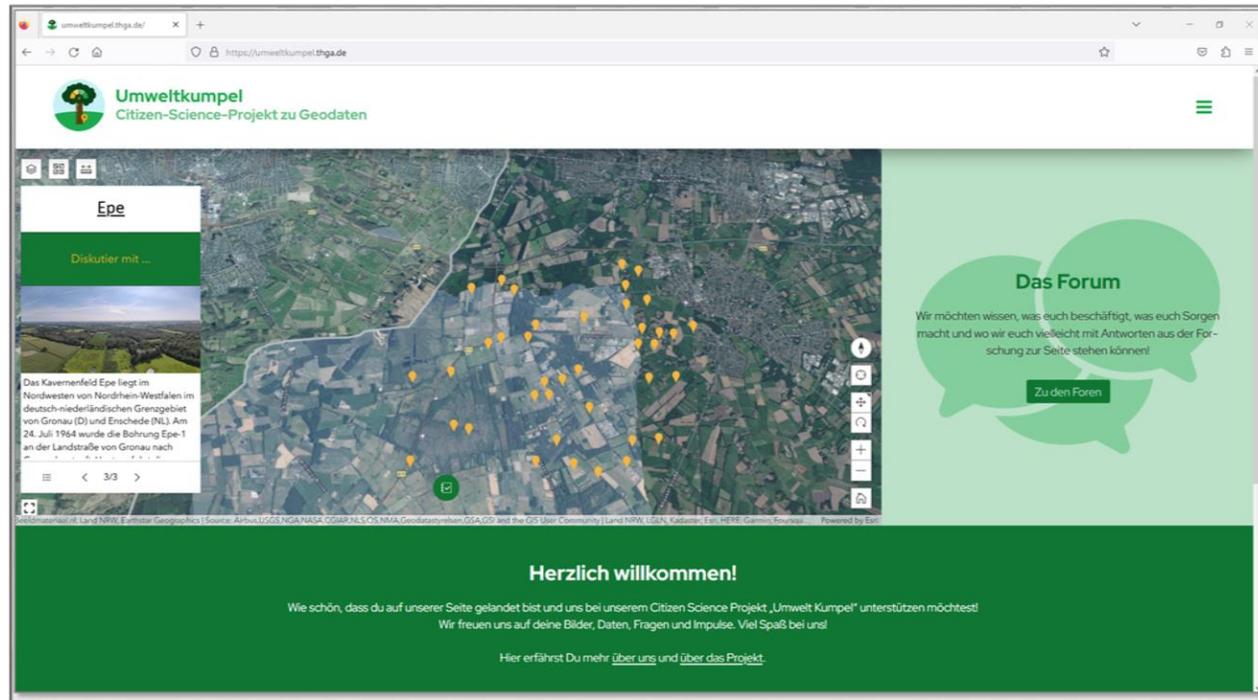


- ➔ SBAS Methode zeigt die gesamte Bewegung der Tagesoberfläche
- ➔ Untergrundgasspeicherung führt zur Bewegungen (Einfluss Bergbau)
- ➔ Bewegung abhängig vom Füllstand
- ➔ Bewegung in Abhängigkeit des Grundwasserflurabstandes (Einfluss von vermindertem Niederschlag)
- ➔ **Hoher Füllstand bei gleichzeitigen heißen Sommern (verminderter Niederschlag) führen nicht zur reduzierten Bewegung („Bremsen der Bewegung“)**

# Bewegungen – Eine Interaktion zwischen einer Vielzahl von Faktoren



## Der Umweltkumpel in Gronau-Epe



- Partizipative Website für das Geo- und Umweltdaten-Tracking (Gemeinschaftsbasierte partizipative Forschung - Community-Based Participatory Research, CBPR)
- **Mithilfe von Bürger:innen nachhaltig die Umwelt im Blick behalten und in Austausch treten**



<https://umweltkumpel.thga.de/>



## Zusammenfassung

1. **Bodenbewegungen** können durch eine **Vielzahl** an natürlichen (u.a. Klimawandel) und anthropogenen (menschlich) Prozessen (u.a. Bergbau) ausgelöst werden
2. Die Bodenbewegungen oberhalb von **Kavernenspeichern verlaufen langsam und kontinuierlich**
3. Die Interpretation benötigt zwingend die **Zusammenführung verschiedener Geodaten**
4. **Offene Geodaten** stellen einen **neuen, wichtigen Möglichkeitsraum** dar
5. **Integrierte Monitoringsysteme** (inkl. Radar-Satellitenfernerkundung) zwingend notwendig!
6. Nur die **unabhängige Wissenschaft** ermöglicht ein **transparentes Prozessverständnis** (n-dimensional in x, y, z, Zeit, Sensor) und unterstützen somit die **öffentliche Beteiligung**

