



Radarsatelliten und Infrastrukturmonitoring – **Eine innovative Integration!**

Für die Forschungsk Kooperation Epe (FK-Epe):
Tobias Rudolph¹

In Zusammenarbeit mit:

Peter Goerke-Mallet¹, Andreas Mütterthies², Andre Homölle⁴, Holger Perrevort³,
Sebastian Teuwsen², Chia-Hsiang Yang²

¹ Forschungszentrum Nachbergbau – Technische Hochschule Georg Agricola, Bochum

² EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Münster

³ Bürgerinitiative Kavernenfeld Epe e.V.

⁴ Stadt Gronau (Westf.)

11. November 2025

Gefördert durch die Stadt Gronau mit dem Vertrag vom 23.7.2021



DR.TOBIAS.RUDOLPH

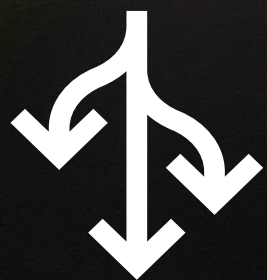
tobias.rudolph@thga.de
www.thga.de
www.nachbergbau.org
www.monitoring-epe.de





T

Sonnenaufgang am Kavernenspeicher Gronau-Epe



Infrastrukturmonitoring am Kavernenspeicher Gronau-Epe

- **Bestimmung des Einwirkungsbereiches** der Bodenbewegungen im am Kavernenspeicher Gronau-Epe mittels **EU-Copernicus (Sentinel-1)**
- **Bestimmung der Hochwassergefährdung**
- **Integratation** von freiverfügbaren **Geodaten**
- Nutzung der **lokalen Informationen und des Wissens** der BürgerInnen in Gronau und Epe



Es gibt Bodenbewegungen! Seit 1975!

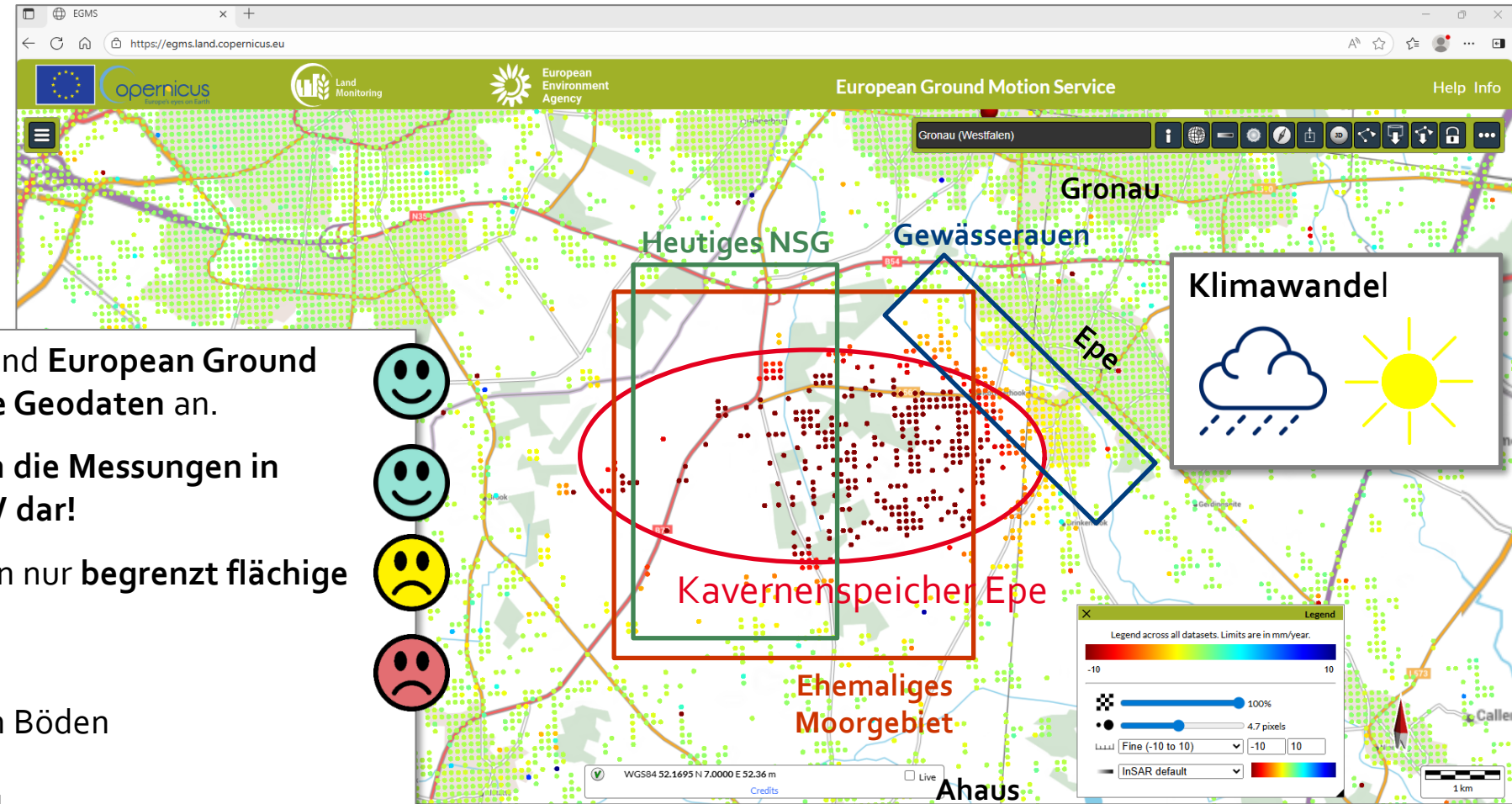
Der Bodenbewegungsdienst (BBD) und European Ground Motion Service (EGMS) bieten offene Geodaten an.

Die Bodenbewegungsdienste stellen die Messungen in Blickrichtung (LOS) und vertikal/E-W dar!

Die Bodenbewegungsdienste erlauben nur **begrenzt flächige Aussagen**

Flächige Überlagerung mit

- Moorgebiet und NSG/ organischen Böden
- Gewässerauen
- Niedriger Grundwasserflurabstand
- Wert gesteigerte Gebäude
- Einfluss des Klimawandels (Trockenheit, Niederschlag)



European Ground Motion Service (EGMS) für den Zeitraum 1.2019 bis 10.2023 vom Stand 9.11.2025 nach der Methode Persistent Scatterer-Interferometry, Vertikale Bodenbewegung

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
 - Unterspeicherung

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

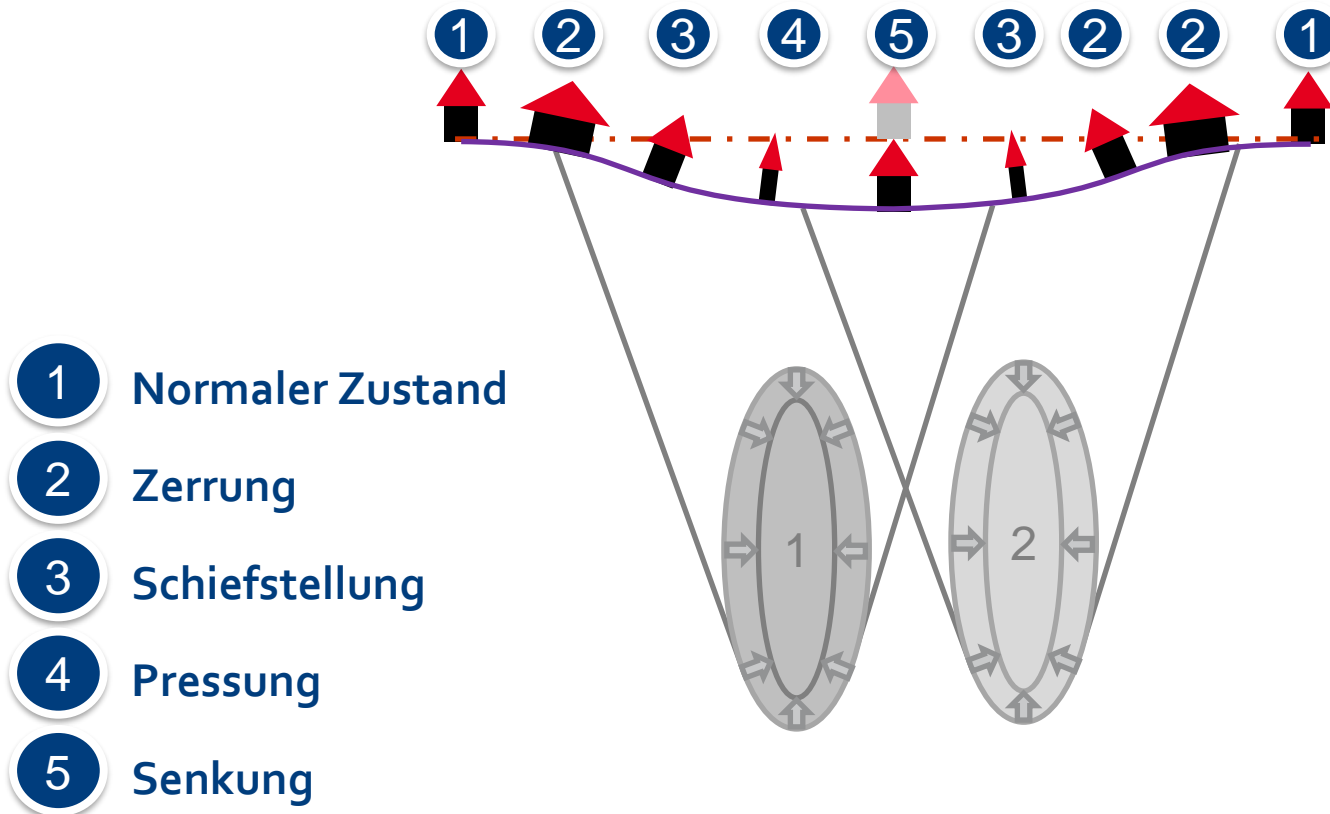
Senkungsgeschwindigkeiten (Bsp.):

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



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

Das Modell der Bodenbewegungen über Kavernen



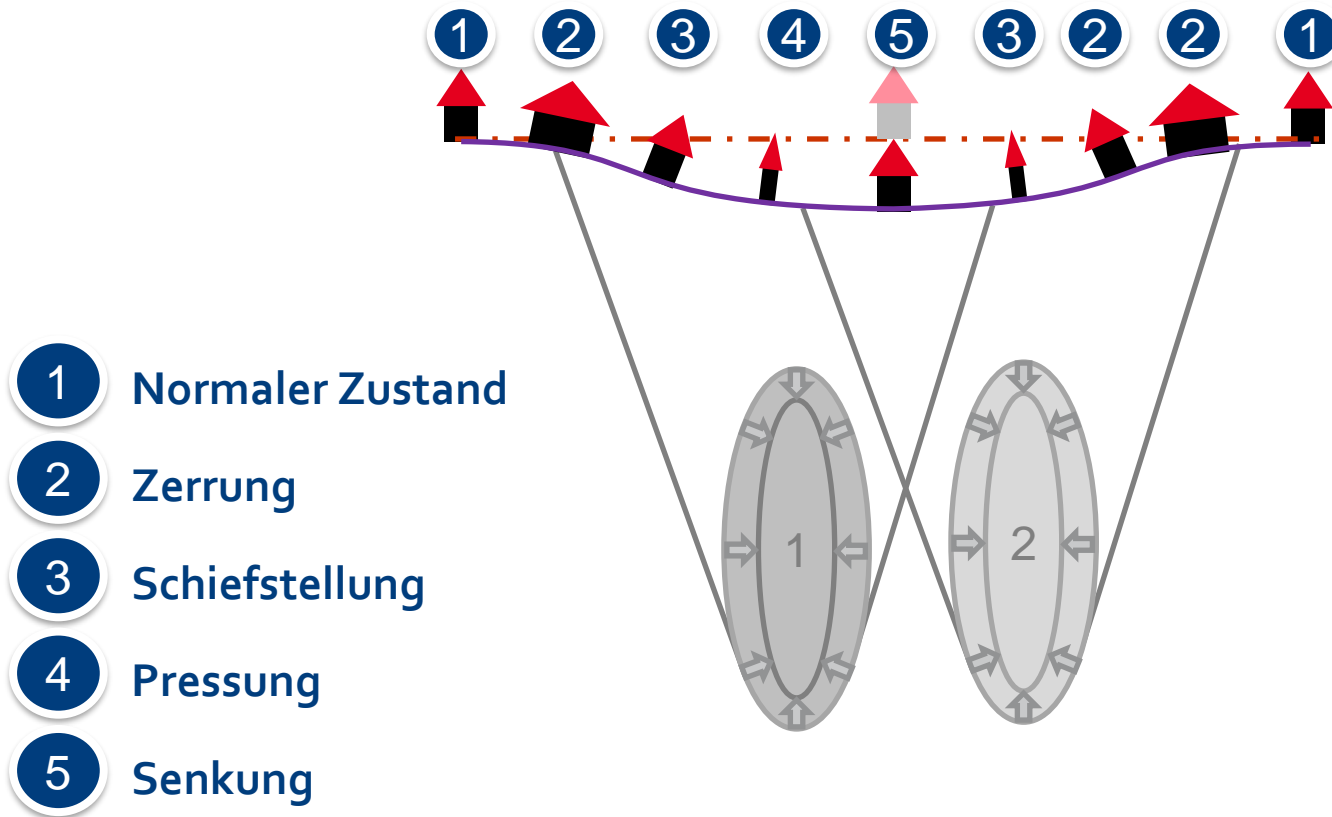
Vertikale Bodenbewegungen

- Senkungen
- Schiefelage
- Krümmung

Horizontale Bodenbewegungen

- Verschiebung
- Längenänderungen
 - Zerrung
 - Pressung

Das Modell der Bodenbewegungen über Kavernen



Vertikale Bodenbewegungen

- Senkungen
- Schiefelage
- Krümmung

Horizontale Bodenbewegungen

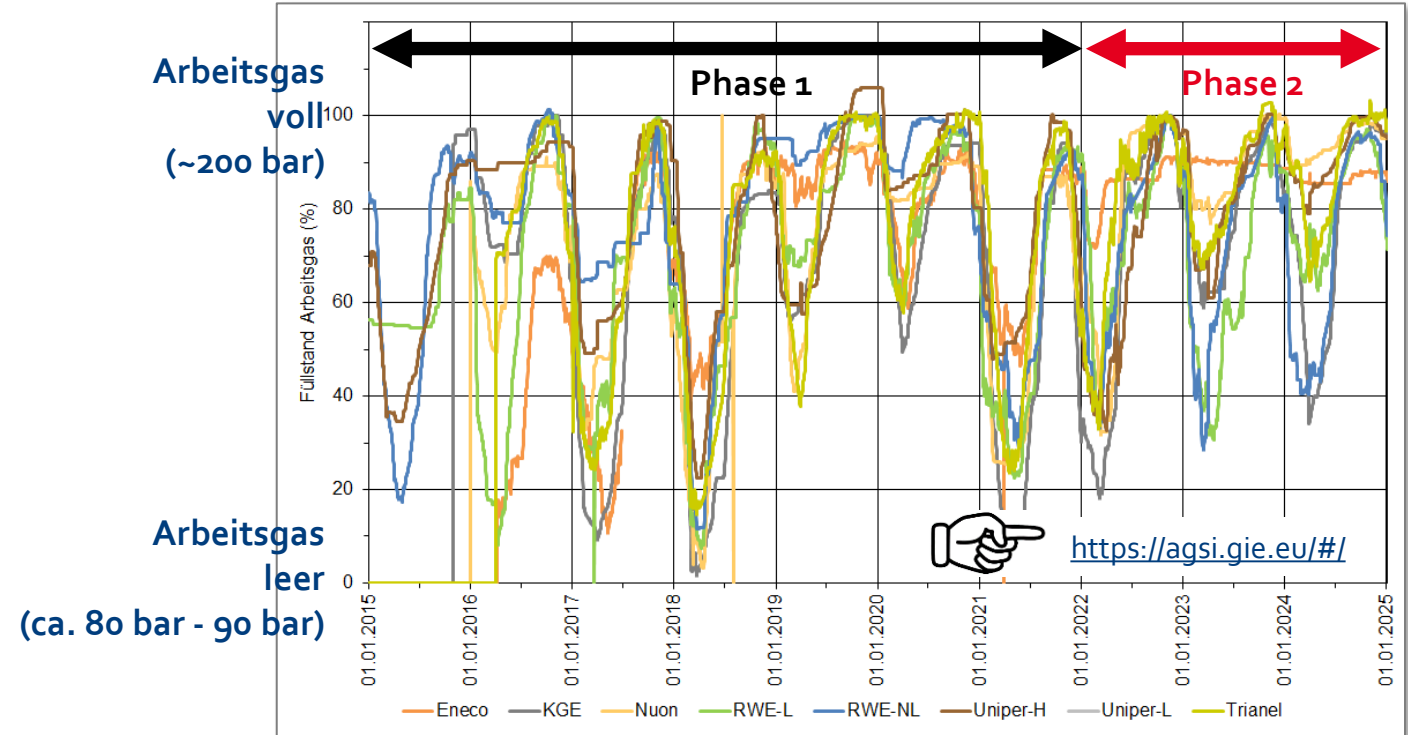
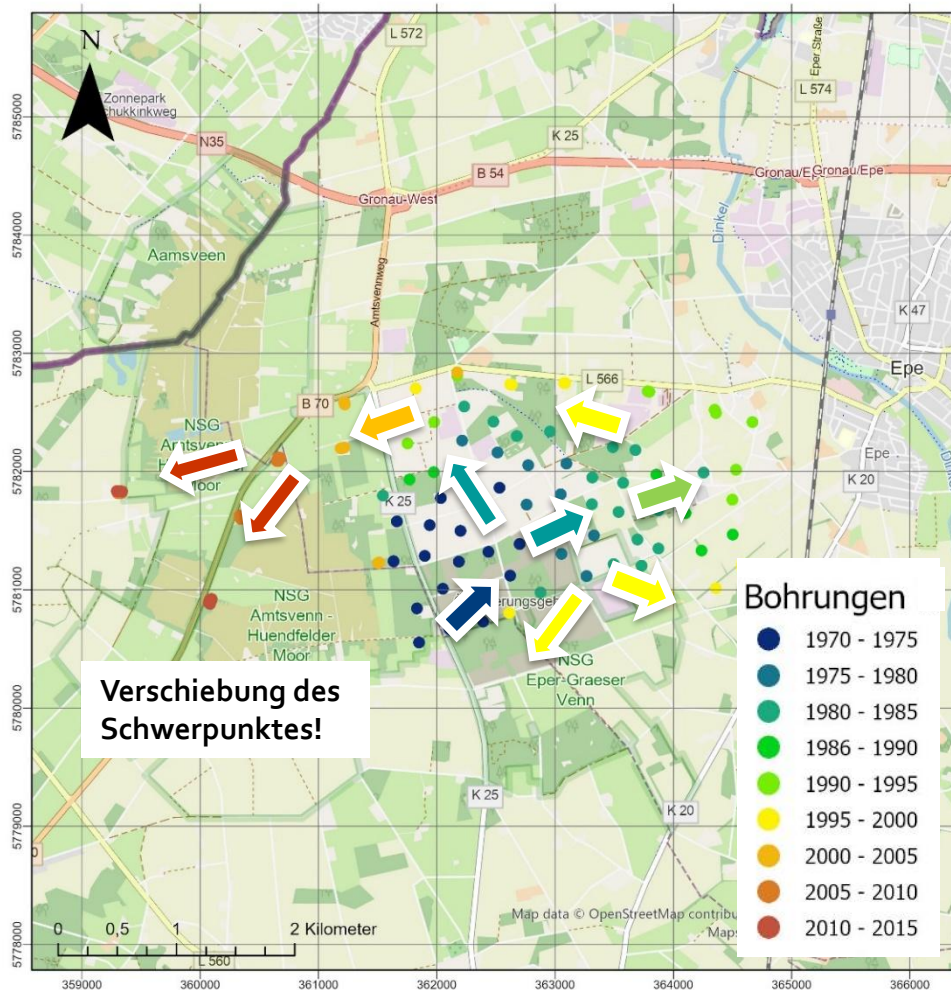
- Verschiebung
- Längenänderungen
 - Zerrung
 - Pressung

Aktive und fortlaufende Methoden der Überwachung

1. **Nivellement**
(SGW Markscheider)
2. **GNSS-Messungen**
(GeoBasis NRW)
3. **Radarinterferometrie**
(Forschungskooperation Epe)

Es ist ein langsam laufender und kontinuierlicher Prozess!

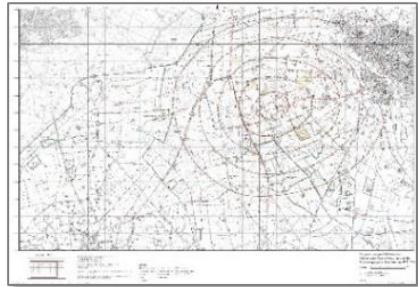
Zeitliche Entwicklung der Bohrungen und Kavernenfüllstände



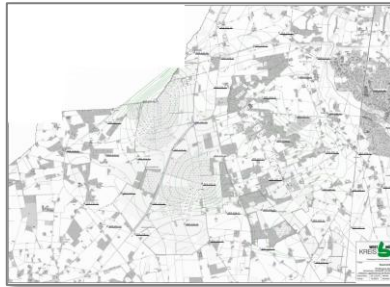
- Die Füllstände des Speicher sind Verbrauch(er) abhängig! (u.a. Wetter/ Temperatur, Gasverfügbarkeit, Krisen)
- „Arbeitsgas = leer“ bedeutet nicht „Speicher = gas-leer“!
- Keine einfache Prognose möglich, hohe Spannbreite!
- **Raum-zeitliche Bodenbewegungen!**

Das A und O: Auswertung und Fusion öffentlicher Geodaten

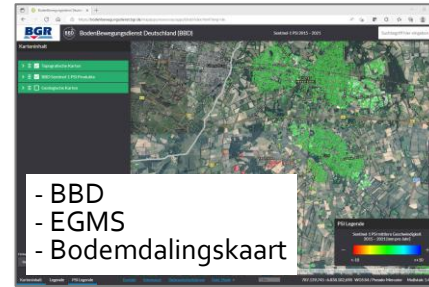
A: Höhenfestpunktriss



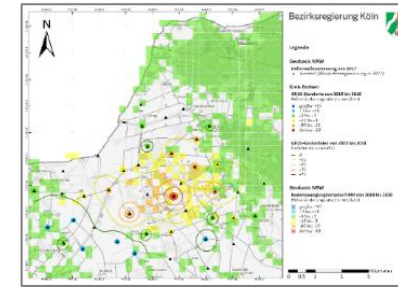
B: Nivellement



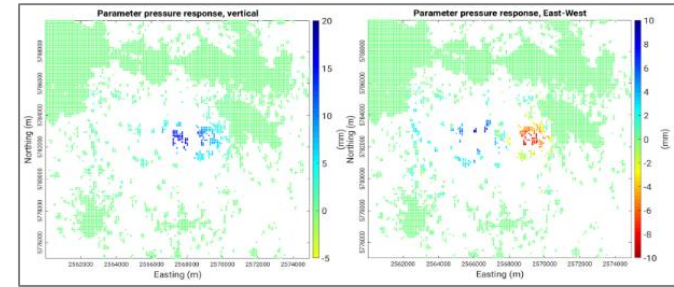
C: Bodenbewegungsdienste



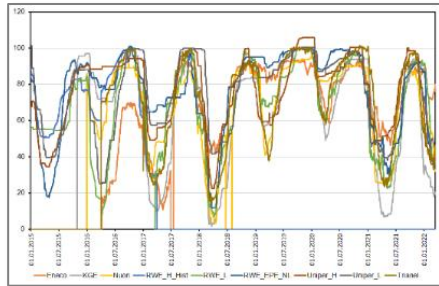
D: GNSS-Messung



E: Bodenbewegungen (Forschung)



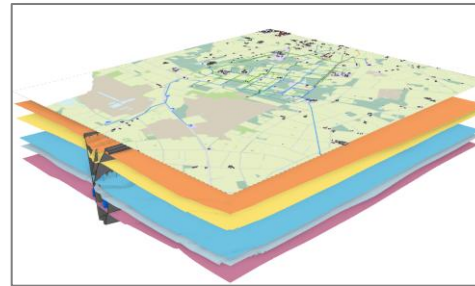
F: Füllstände von Speichern



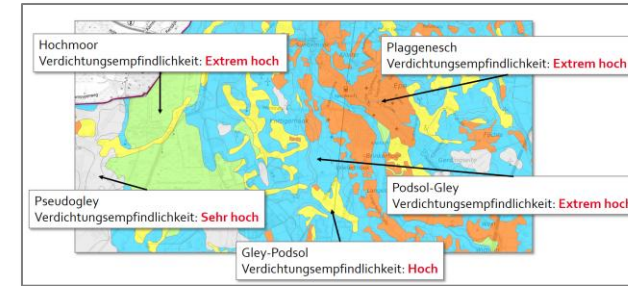
G: Gebäude



H: 3D-Untergrundanalyse



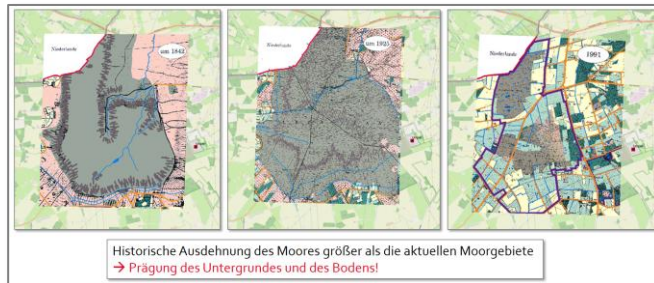
I: Bodentypen und Setzungen



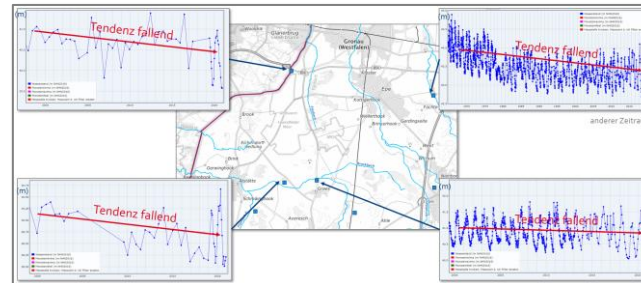
J: Setzungsempfindlichkeit



K: Ausbreitung des Mooregebietes



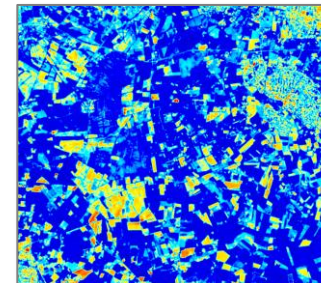
L: Schwankungen des Grundwassers



M: Hydrologie



N: Bodenfeuchte

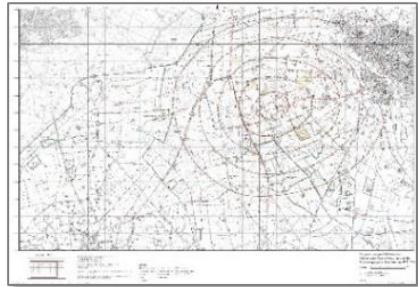


O: Hochwasseranalysen

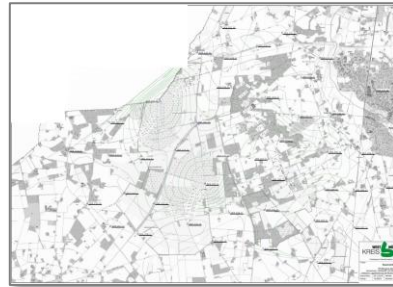


Das A und O: Auswertung und Fusion öffentlicher Geodaten

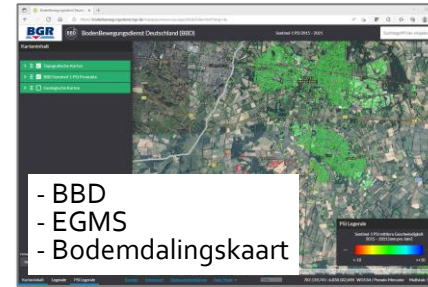
A: Höhenfestpunktriss



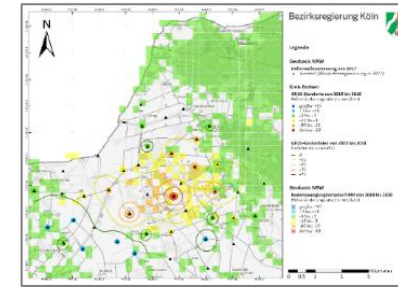
B: Nivellement



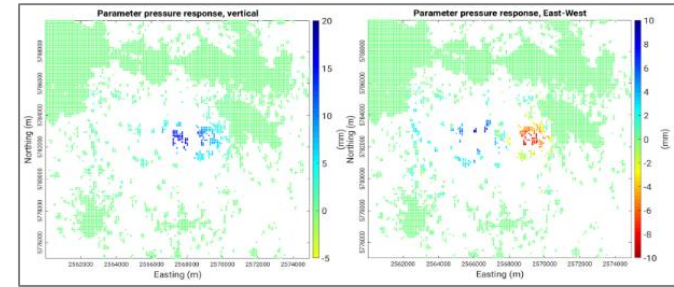
C: Bodenbewegungsdienste



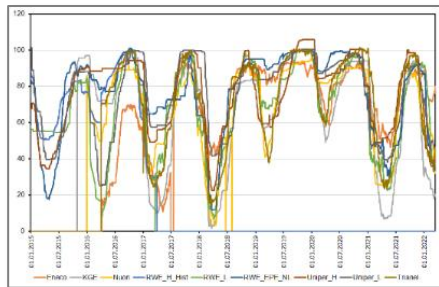
D: GNSS-Messung



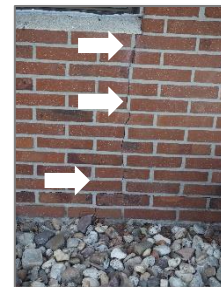
E: Bodenbewegungen (Forschung)



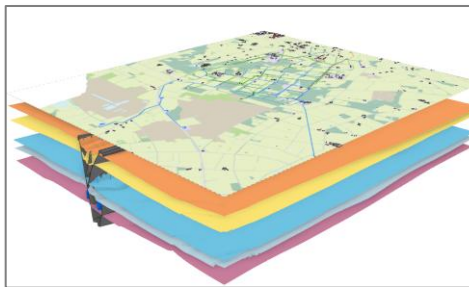
F: Füllstände von Speichern



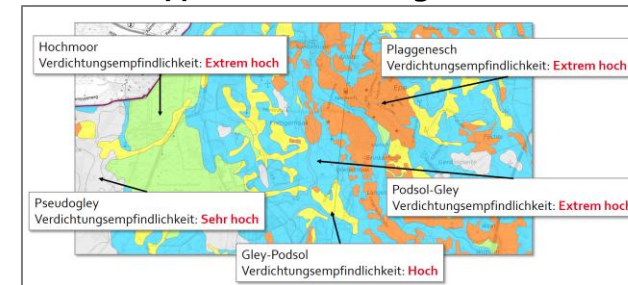
G: Gebäude



H: 3D-Untergrundanalyse



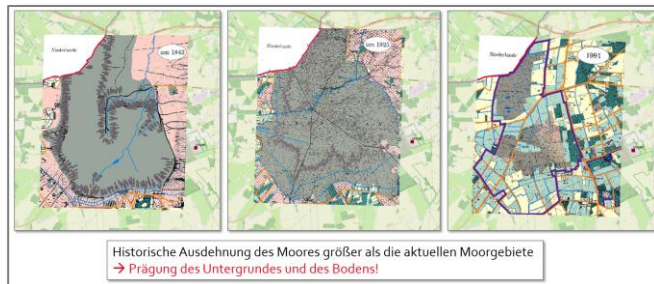
I: Bodentypen und Setzungen



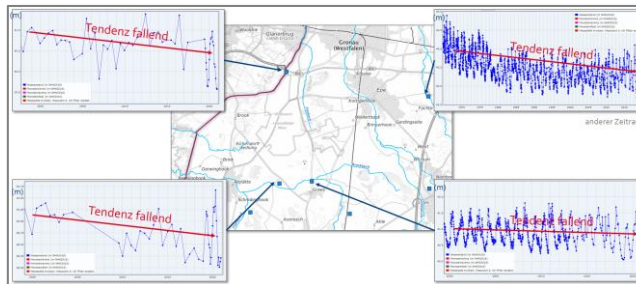
J: Setzungsempfindlichkeit



K: Ausbreitung des Mooregebietes



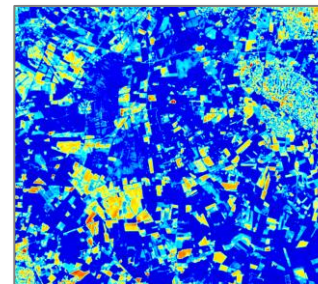
L: Schwankungen des Grundwassers



M: Hydrologie



N: Bodenfeuchte



O: Hochwasseranalysen



➔ Räumlicher digitaler Zwilling ➔ Notwendigkeit für die Radar-Fernerkundung

Ausschusssitzungen



Gebäudeschäden



Hauptbeteiligte



Hochwasser



Öffentliche Abflussmessungen



Öffentliche Fahrradexkursion



Öffentliche Informationsveranstaltungen



Schülerwissenschaften und schulische Informationsveranstaltung



Moorbefahrungen



Studierenden Exkursionen



Quartärliche Messungen



Seismische Erkundung



Ausschusssitzungen



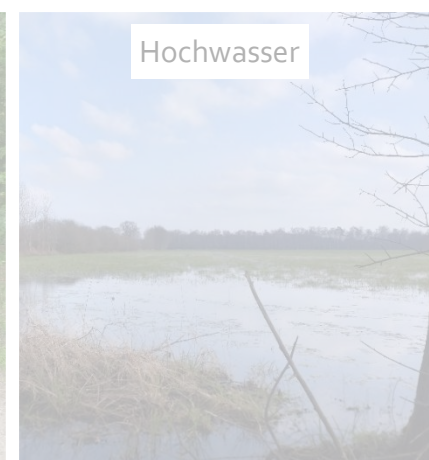
Gebäudeschäden



Hauptbeteiligte



Hochwasser



Öffentliche Abflussmessungen



Öffentliche Fahrradexkursion



Öffentliche Informationsveranstaltungen



Schülerwissenschaften und Informationsveranstaltung



Moorbefahrungen



Studierenden Exkursionen



Quartärliche Messungen



Seismische Erkundung



Einzeldarstellung der monatlichen Niederschläge

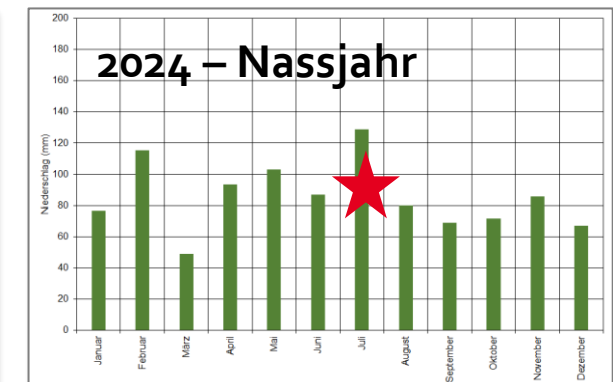
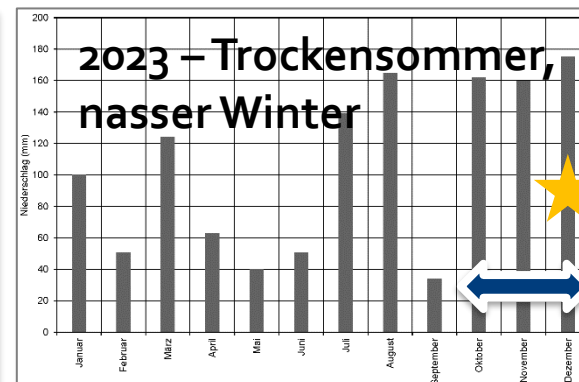
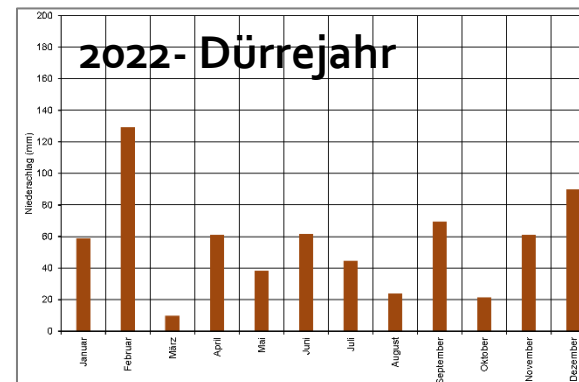
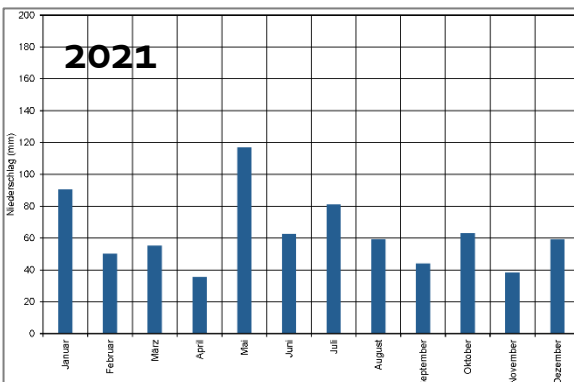
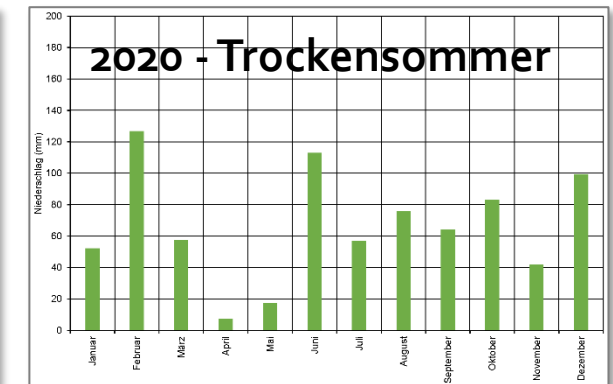
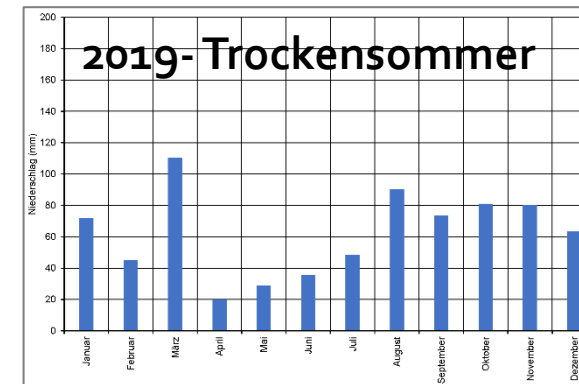
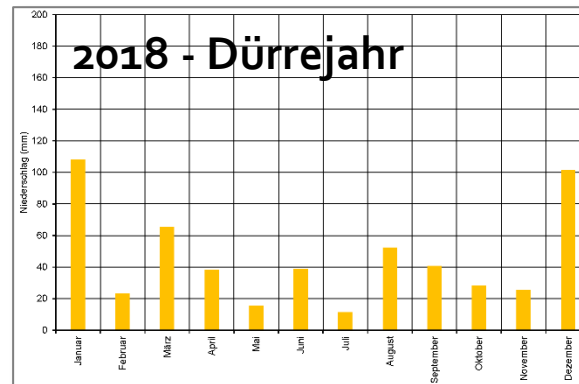
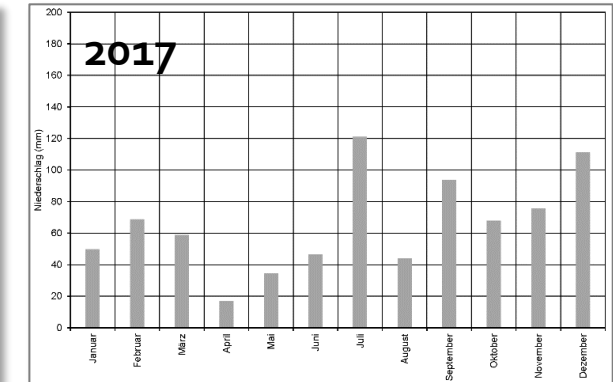
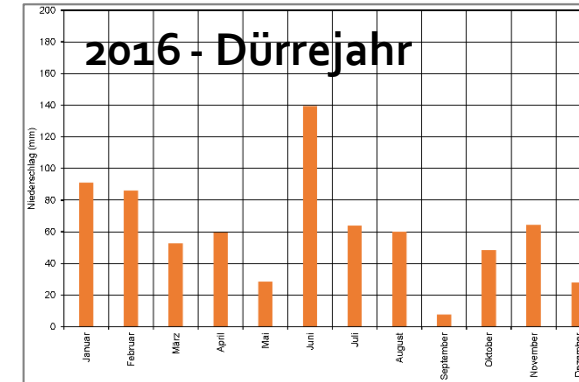
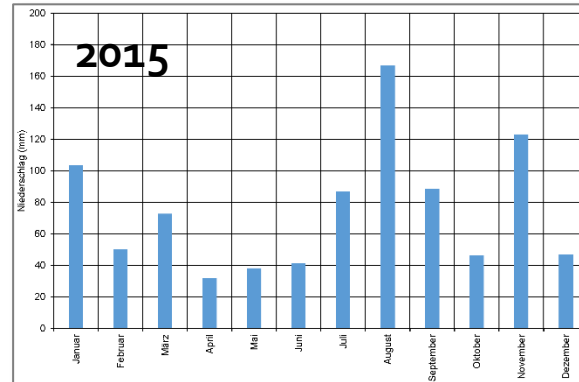
★ Zwei Starkregen-
ereignisse mit 20 mm/d
bis 60 mm/d
Niederschlag



Bergbaulich induzierte
Hochwasseranalyse



Weihnachtshochwasser



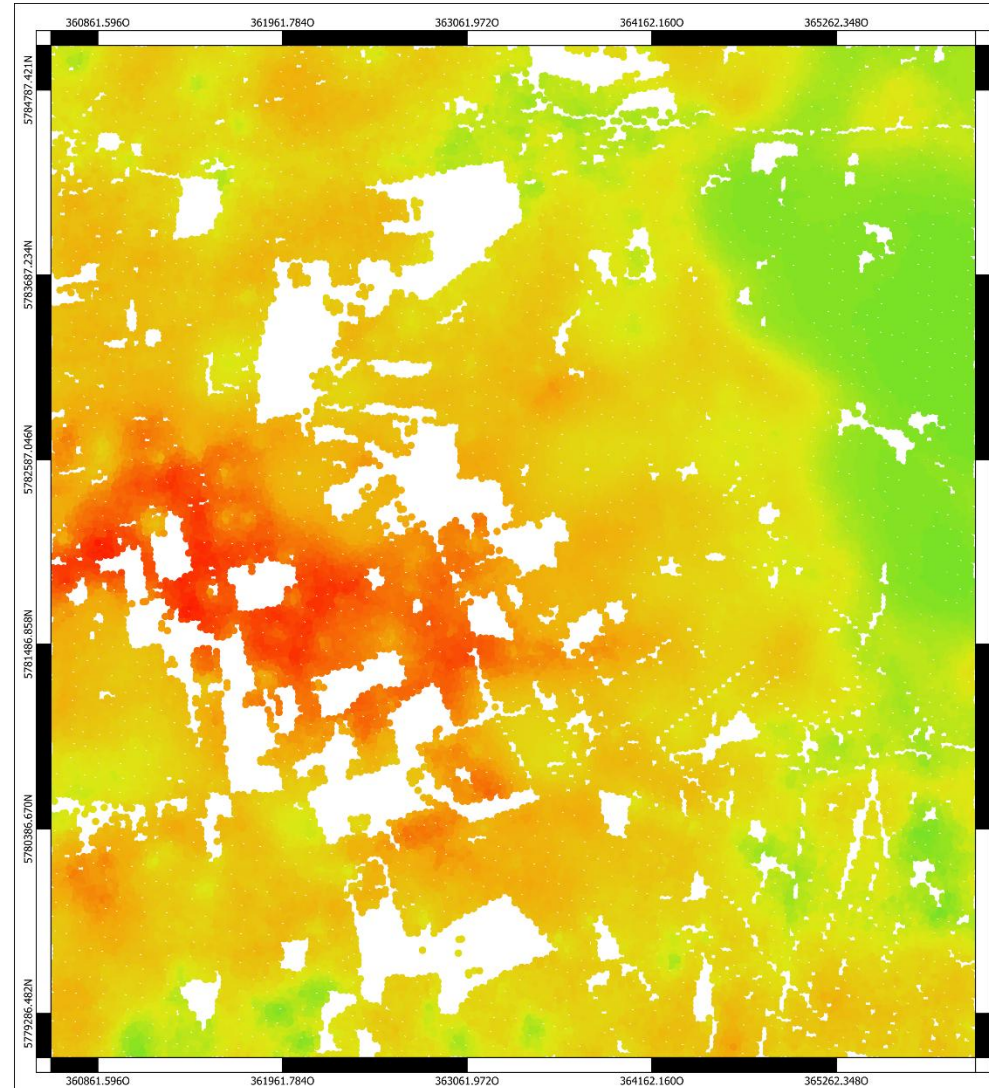
Ergebnisse der Überwachung – Bewegungen der Tagesoberfläche im Kavernenfeld

Darstellung der Daten
vom 11/2015 bis 8/2024

Bezugszeitraum
Anfang 11/2015

Flächige Auswertung mittels der
eSBAS Methode

Darstellung der
vertikalen
Durchschnittsgeschwindigkeit
in mm pro Jahr



Übersicht Punktwolke



Legende

SBAS Vertikale Bodenbewegung



Darstellung

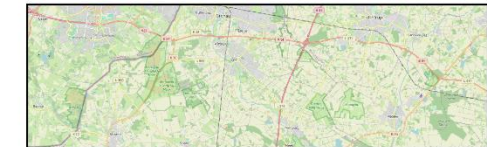
Zur Darstellung wurde eine kontinuierliche Farbskala von rot (negativ) nach lila (positiv) verwendet. Es werden die einzelnen Datenpunkte dargestellt. Negative Werte bedeuten eine Absenkung und positive Werte eine Hebung des Gebietes.

Dargestellt werden die SBAS Daten von 11/2015 bis 08/2024.

Kartenprojektion

ETRS89 / UTM zone 32N
Ellipsoid: GRS 1980

Gesamtes Untersuchungsgebiet

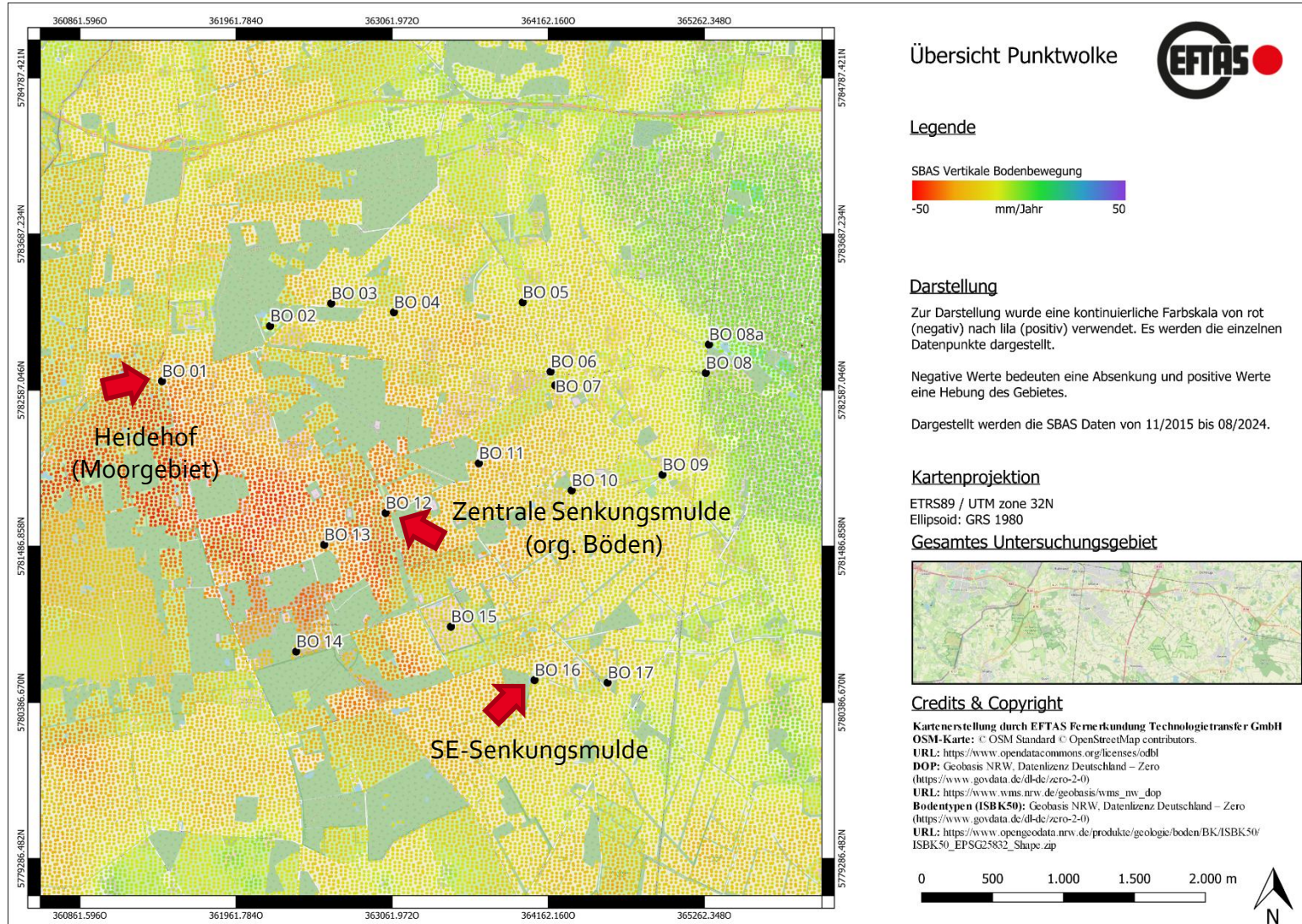


Credits & Copyright

Kartenerstellung durch EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH
OSM-Karte: © OSM Standard © OpenStreetMap contributors.
URL: <https://www.openstreetmap.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
Bodentypen (ISBK50): Geobasis NRW, Datenlizenz Deutschland – Zero
(<https://www.govdata.de/dl-de/zero-2-0>)
URL: https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geologie/boden/BK/ISBK50/ISBK50_EPSG25832_Shape.zip

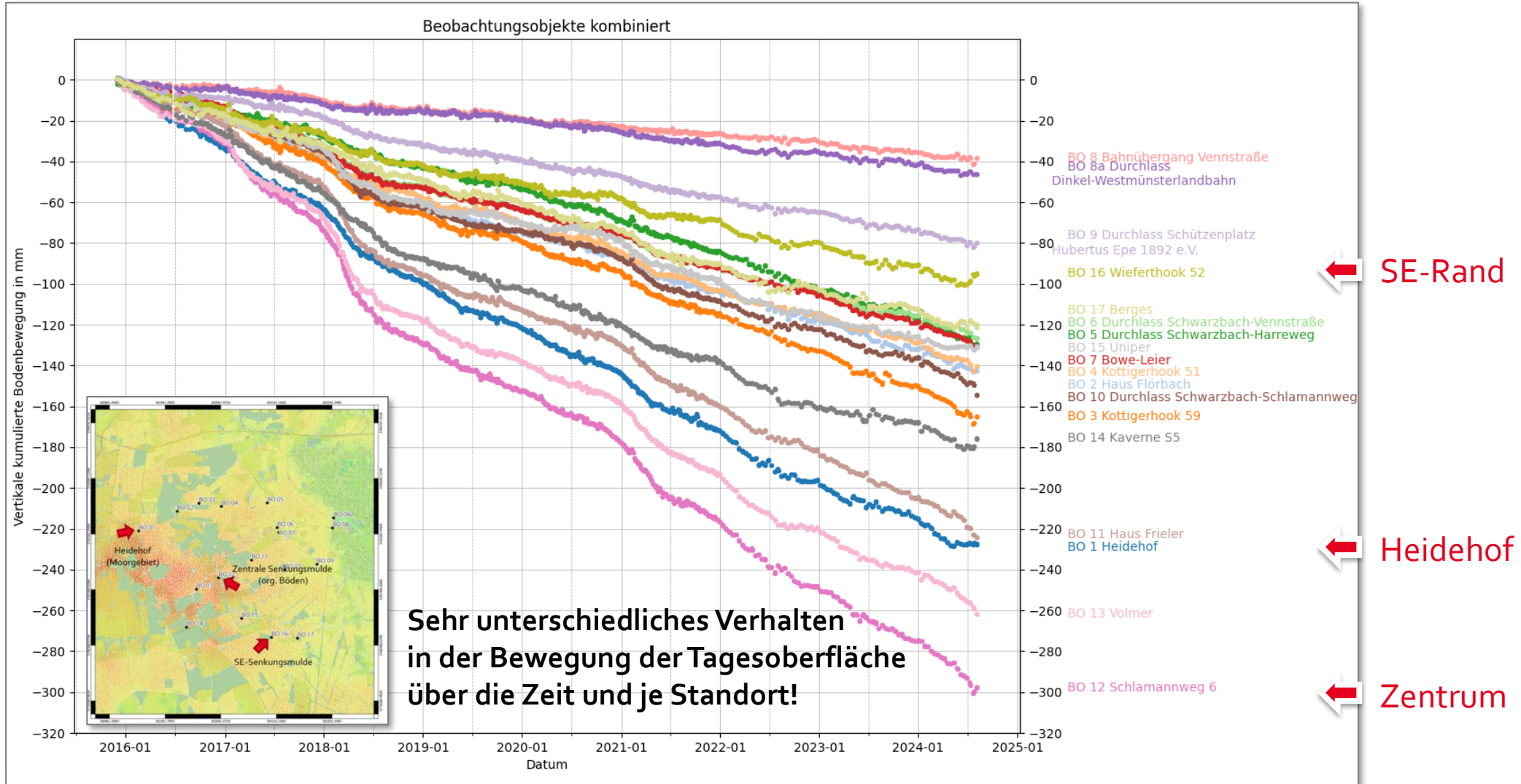


Ergebnisse der Überwachung – Beobachtungspunkte

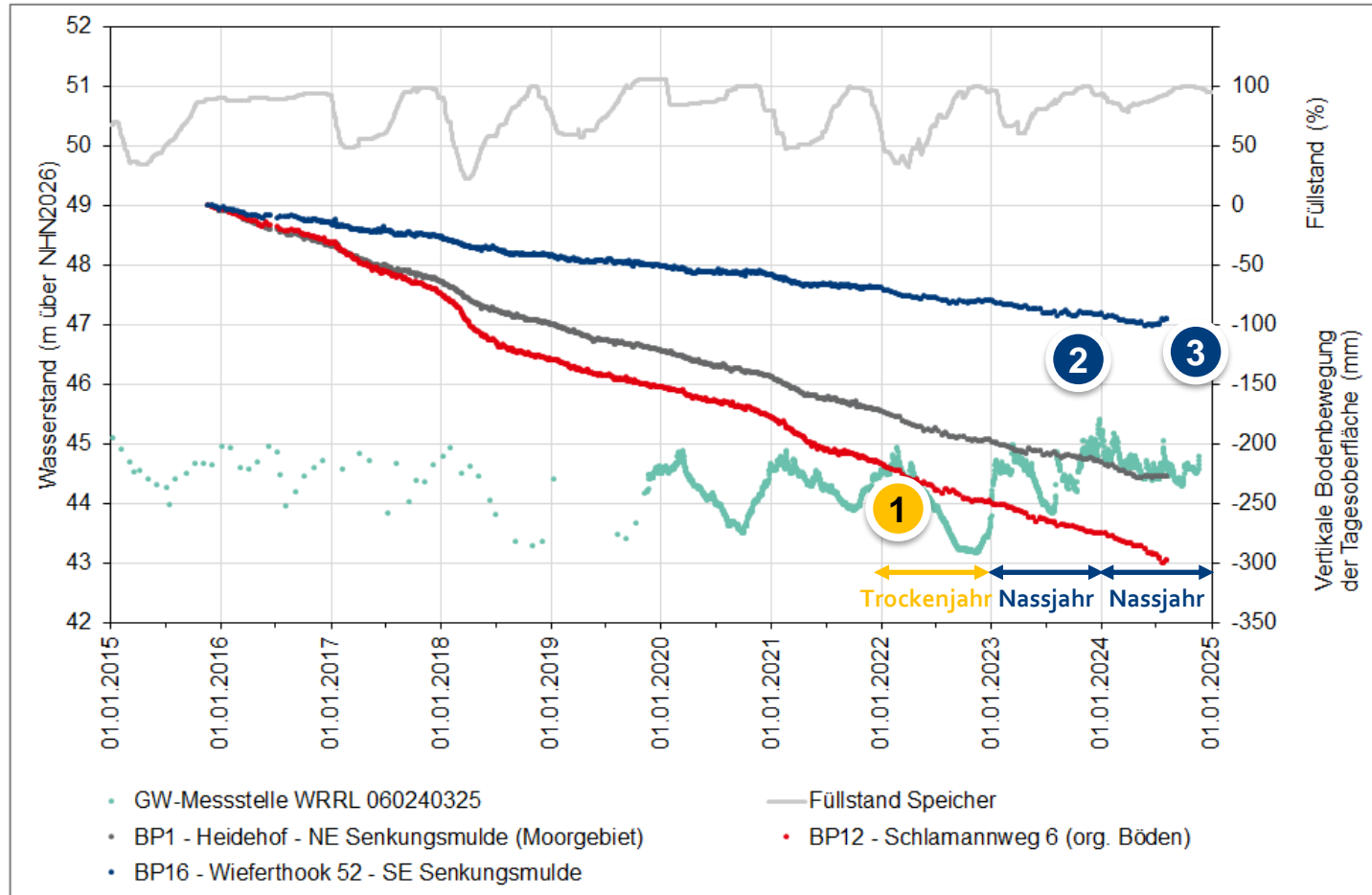


- Gute flächige Abdeckung
- eSBAS zeigt die gesamten Bodenbewegungen
- Validierung mittels GNSS-Messungen von GeoBasis NRW aus November 2022

Ergebnisse der Überwachung – Beobachtungspunkte



Bewegungen – Eine Interaktion zwischen einer Vielzahl von Faktoren



➔ Untergrundgasspeicherung führt zur Bewegungen (Einfluss Bergbau)

➔ Bewegung abhängig vom Füllstand

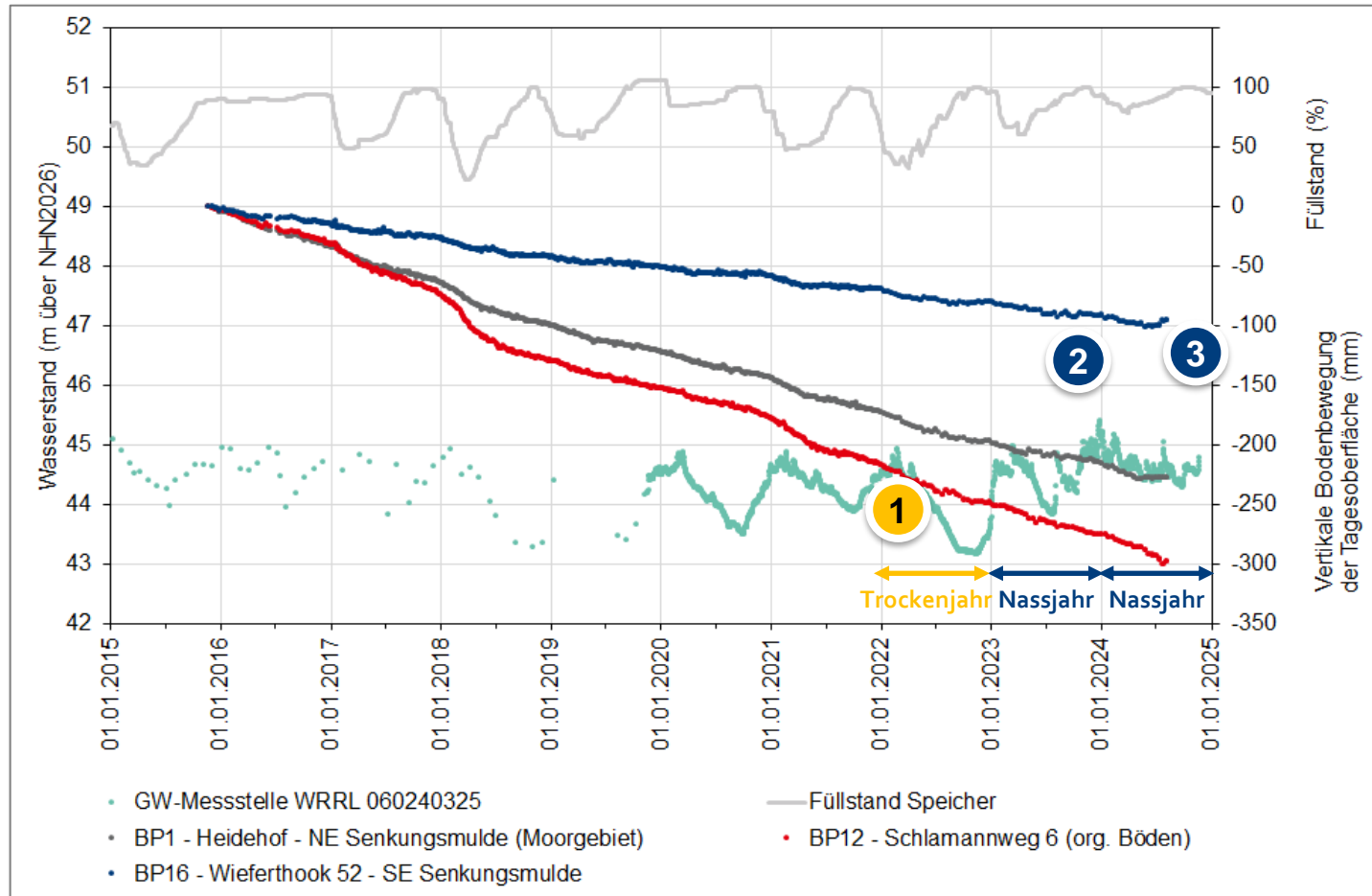
➔ Bewegung in Abhängigkeit des Grundwasserflurabstandes

1. Geringer Füllstand + Trockenjahr = Verstärkung der Bewegung

2. Hoher Füllstand + 1. Nassjahr = langsame Bewegung

3. Hoher Füllstand + 2. Nassjahr = z.T. randliche Hebungen

Bewegungen – Eine Interaktion zwischen einer Vielzahl von Faktoren



➔ Untergrundgasspeicherung führt zur Bewegungen (Einfluss Bergbau)

➔ Bewegung abhängig vom Füllstand

➔ Bewegung in Abhängigkeit des Grundwasserflurabstandes

1. **Geringer Füllstand + Trockenjahr = Verstärkung der Bewegung**

2. **Hoher Füllstand + 1. Nassjahr = langsame Bewegung**

3. **Hoher Füllstand + 2. Nassjahr = z.T. Hebungen**

Aber, läuft die Senkungsmulde voll?



Monitoring Epe
Forschung und Transfer für Epe



Technische
Hochschule
Georg Agricola

Senkungsmulde, Klimawandel, Hochwasser

Was nun?

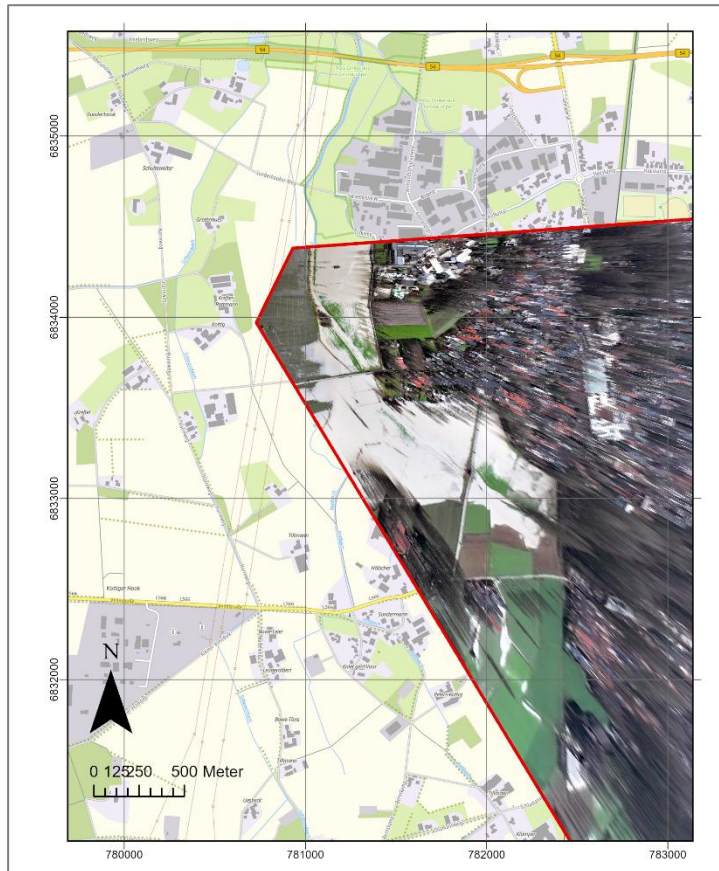
An aerial photograph showing a large area of flooding. In the background, a town with many houses and several wind turbines are visible under a cloudy sky. The middle ground shows a flooded area with some green fields and a small cluster of buildings. The foreground is dominated by a large, dark, flooded field with some trees and a small structure partially submerged. The water is a muddy brown color.

Hochwasser an der Hoflage Krefter am 25. Dezember 2023 um 11.53h

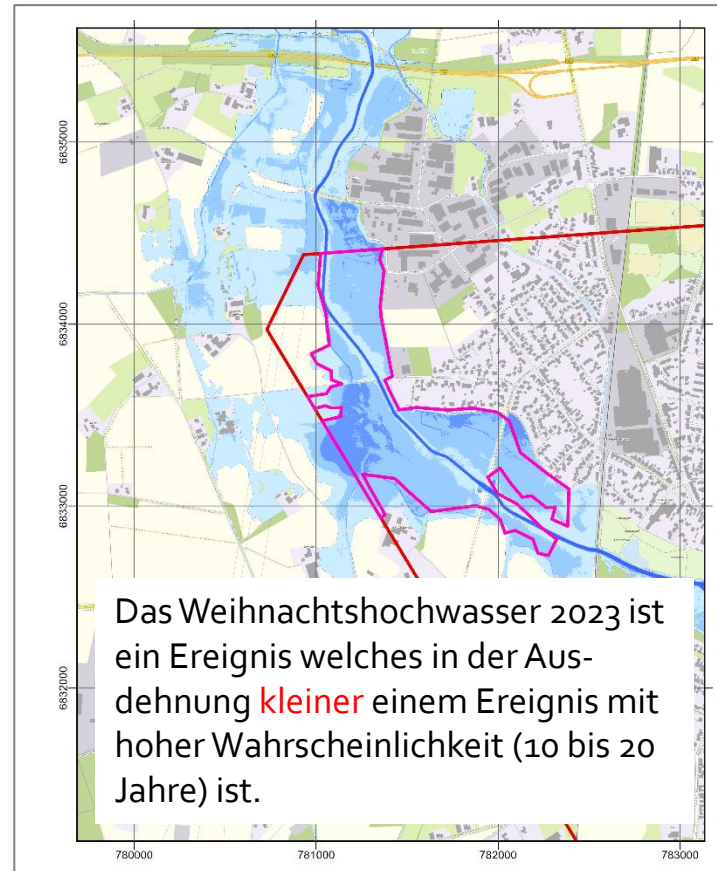
Blickrichtung nach Osten in Richtung der Ortslage Epe
Durchgang der Hochwasserwelle am 26. Dezember 2023 um 13.30h
Randliche Senkungsmulde (Osten) innerhalb des 10 cm Einwirkungsbereich

Auswertung der Darstellung vom 25. Dezember 2023 um 11.53h

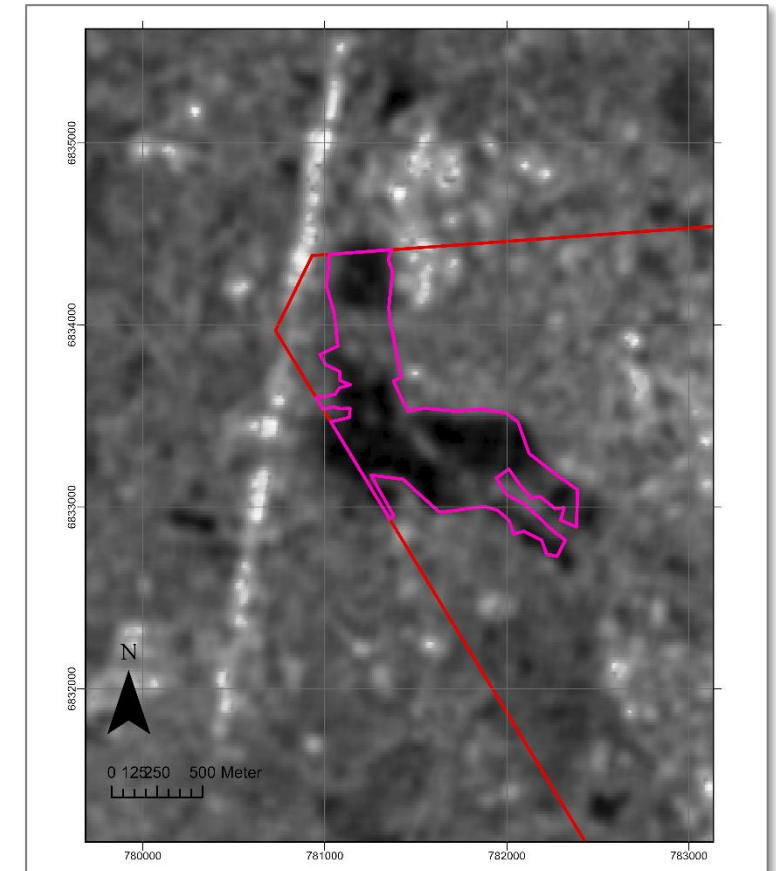
Kartendarstellung der Kopteraufnahme Krefter



Kombination mit der Hochwasser-Gefahrenkarte NRW HQ10-50

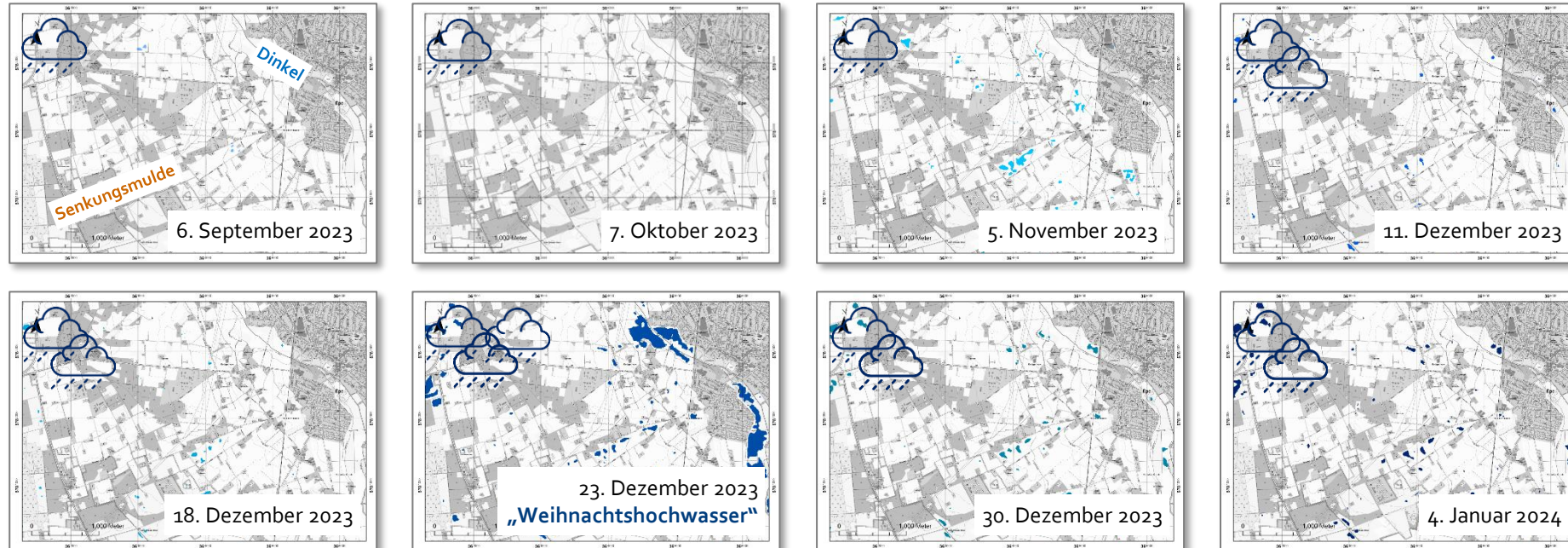


Radarbild des europäischen Sentinel-1 vom 27.12.2023



Wassermasken: Hochwasser und Starkregen

Zeitreihenanalyse Hochwasseranalyse

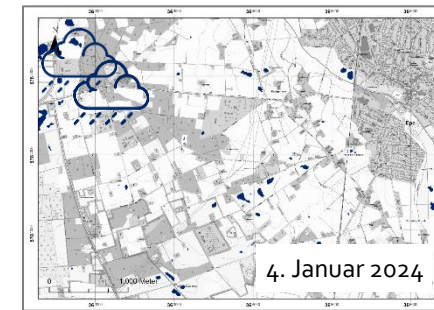
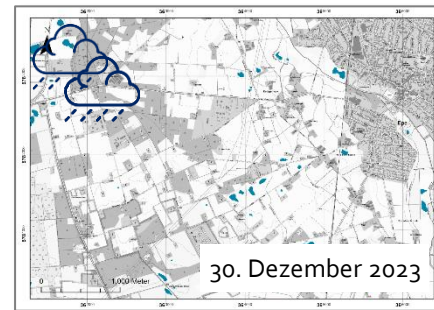
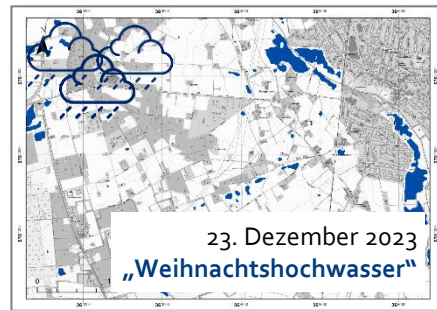
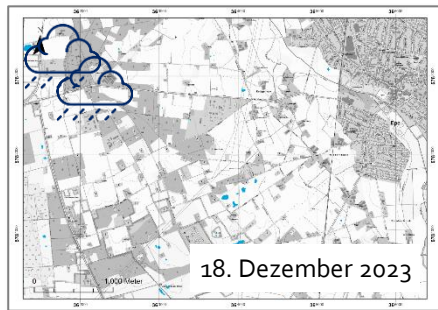
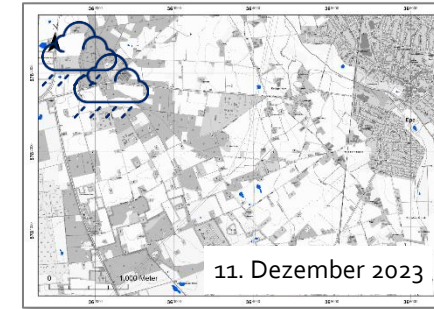
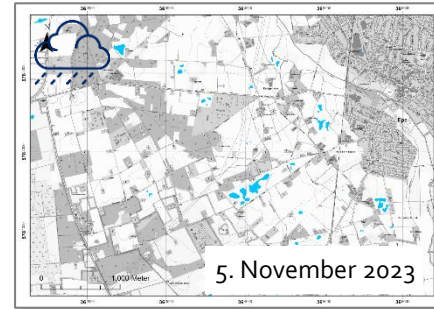
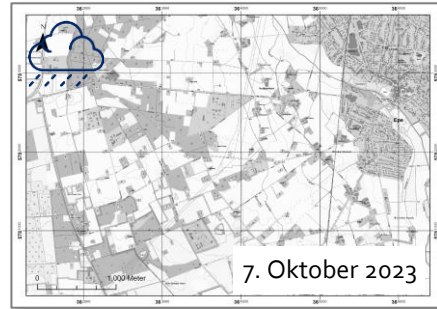
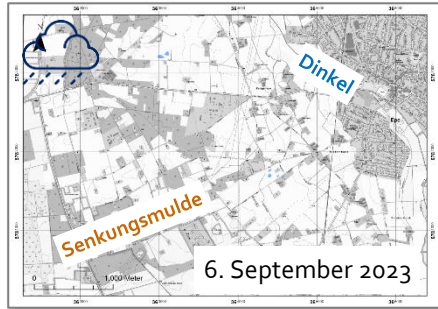


Hochwasser

- Hohe Niederschläge füllen den trockenen Retentionsraum auf
- Nur lokale Hochwässer im Bereich der Dinkel
- Viele Staunässeflächen, Felddrainierung voll, aber zeitnaher Abfluss!

Wassermasken: Hochwasser und Starkregen

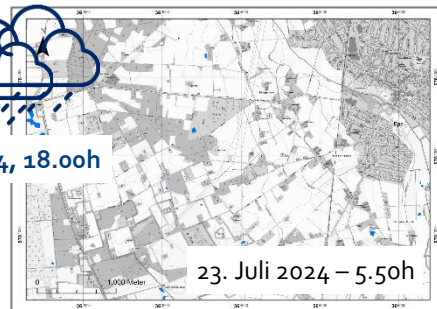
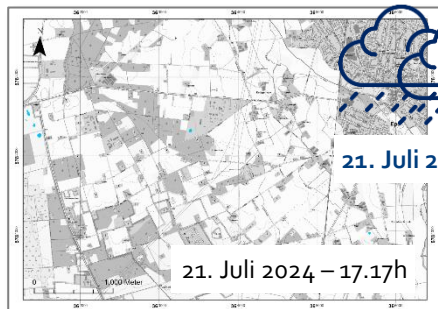
Zeitreihenanalyse Hochwasseranalyse



Hochwasser

- Hohe Niederschläge füllen den trockenen Retentionsraum auf
- Nur lokale Hochwässer im Bereich der Dinkel
- Viele Staunässeflächen, Felddrainierung voll, aber zeitnaher Abfluss!

Zeitreihenanalyse Starkregen

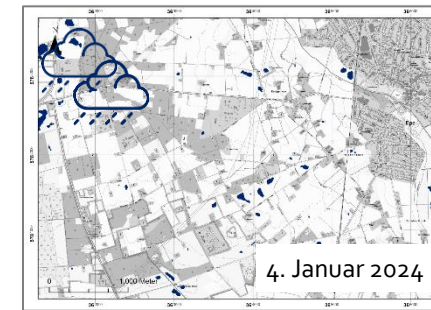
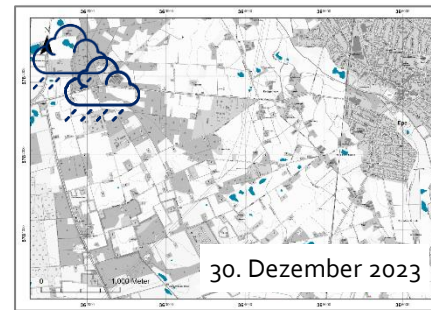
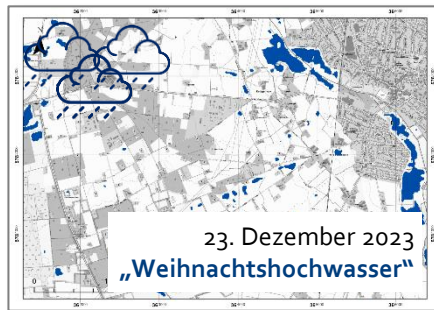
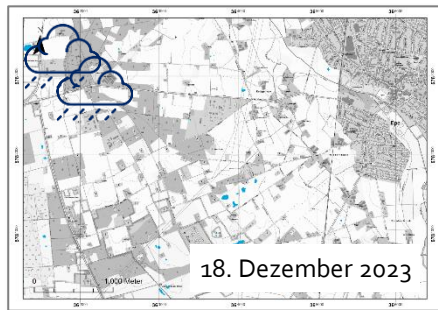
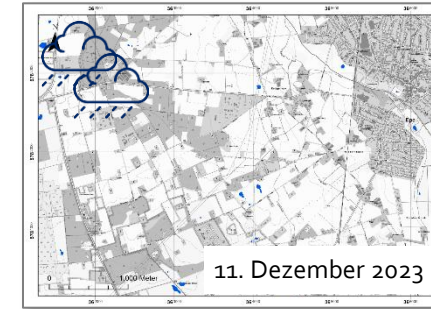
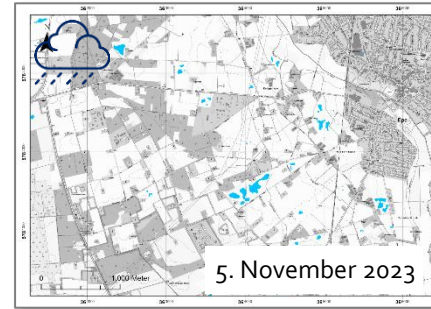
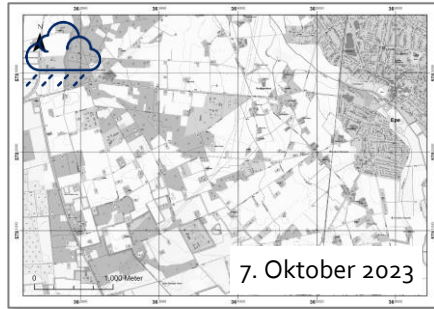
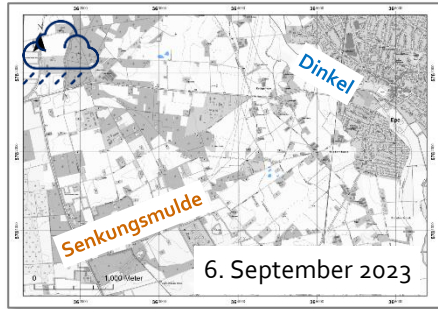


Starkregen

- Starkregenereignis zeigt keine Nassstellen
- Gebiet trocken!
- Retention/Abfluss funktioniert nach den Starkregenereignissen!

Wassermasken: Hochwasser und Starkregen

Zeitreihenanalyse Hochwasseranalyse

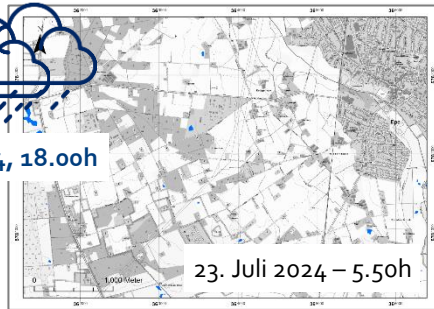
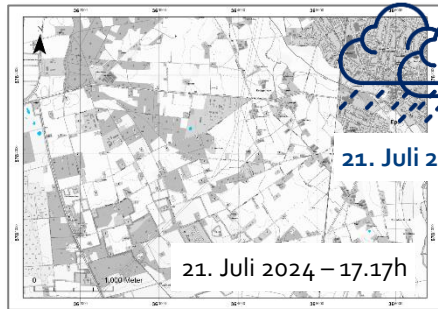


Hochwasser

- Hohe Niederschläge füllen den trockenen Retentionsraum auf
- Nur lokale Hochwässer im Bereich der Dinkel
- Viele Staunässeflächen, Felddrainierung voll, aber zeitnaher Abfluss!



Zeitreihenanalyse Starkregen



Starkregen

- Starkregenereignis zeigt keine Nassstellen
- Gebiet trocken!
- Retention/Abfluss funktioniert nach den Starkregenereignissen!



Der Bergbau hat (noch) kein erhöhtes Risiko von Hochwässern ausgelöst!

Zusammenfassung

1. **Bodenbewegungen** können durch eine **Vielzahl** an natürlichen (u.a. Klimawandel, Böden, Wasser) und anthropogenen Prozessen (u.a. Bergbau, Wassergewinnung) ausgelöst werden
2. Vom **räumlichen, digitalen Zwilling (RDZ)** zum **digitalen Risikomanagementzwillling (RisikoDZ)**:
 1. Offene Geodaten stellen einen neuen, wichtigen Möglichkeitsraum dar
 2. **Integrierte Monitoringsysteme** (inkl. Radar-Satellitenfernerkundung) zwingend notwendig!
 3. Die Interpretation benötigt **zwingend die Zusammenführung verschiedener Geodaten**
3. Nur die **unabhängige Wissenschaft** ermöglicht ein **transparentes Prozessverständnis** (n-dimensional in x, y, z, Zeit, Sensor) und unterstützen somit die **öffentliche Beteiligung**

