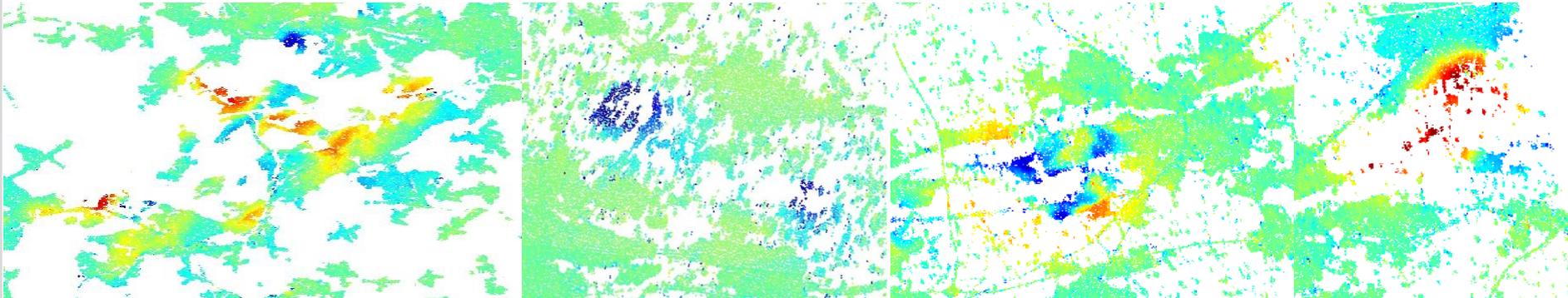


FloodRisk, Teilprojekt Geodäsie: Bodenbewegungen im östlichen Ruhrgebiet und in Ibbenbüren in der Phase des Nachbergbaus beobachtet mit Radarinterferometrie

Markus Even, Malte Westerhaus, Hansjörg Kutterer

GEODÄTISCHES INSTITUT KARLSRUHE

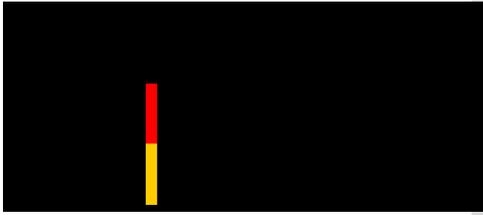


Hintergrund Nachbergbau

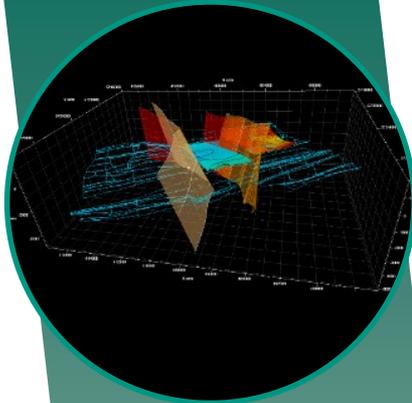


- Die Produktion in allen deutschen Steinkohlerevieren wurde beendet.
- Während des Betriebes muss kontinuierlich Wasser aus den Gruben herausgepumpt werden. Dies verursacht signifikante Kosten, die sich reduzieren lassen, wenn das Wasser aus geringerer Tiefe gehoben wird. Daher werden die stillgelegten Bergwerke in der Regel geflutet.
- Potentiell könnte der Grubenwasseranstieg unerwünschte Konsequenzen haben:
 1. Schäden an Infrastruktur durch heterogene Oberflächenbewegungen
 2. Seismizität durch Änderungen von Spannungen im Gestein durch wachsenden Porendruck und Reaktivierung von Verwerfungen
 3. Kontaminierung des Grundwassers durch Grubenwasser

FloodRisk: Erdbeben, Hebungen und Ewigkeitsaufgaben – Minimierung von Risiken während der Bergwerksflutung

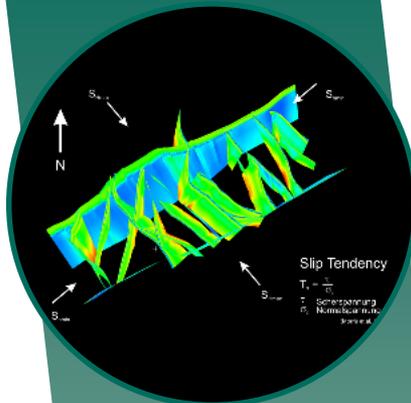


Geologie



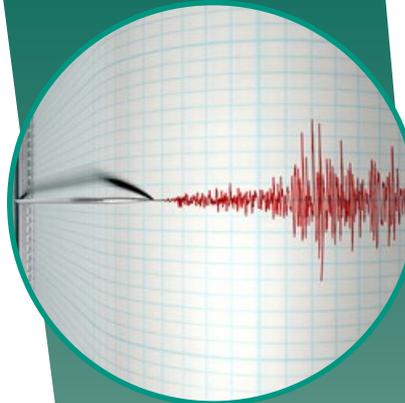
- KIT – Institut für Strukturgeologie und Tektonik
- Geologischer Dienst NRW

Geomechanik



- KIT – Techn. Petrophysik
- Alber Geomechanik
- Piewak und Partner GmbH

Geophysik



- RUB – AG Seismologie

Geodäsie



- KIT – Geodät. Institut

- DMT GmbH & Co. KG

Sensorik

- EIFER – European Institute for Energy Research

Teilprojekt Geodäsie



1. Experiment mit elektronischen Corner-Reflektoren (Transponder)
2. Installation eines GNSS-Netzwerkes mit 10 Low-Cost-Antennen und zwei Referenzstationen (Daniel Czerwonka-Schröder, DMT) im östlichen Ruhrgebiet
3. Ziele InSAR:
 - 2D-Verschiebungsfelder für räumlich und zeitlich heterogene Bewegungen
 - Verständnis der Verschiebungsfelder (Was passiert wo?)
 - Anpassung der Methodologie
4. InSAR-Analysen für östliches Ruhrgebiet und Ibbenbüren
 - basierend auf Sentinel-1-Daten (aufsteigender Orbit 015, absteigender Orbit 139)
 - Zeitraum Januar 2018- Dezember 2022

Radarinterferometrie (InSAR)

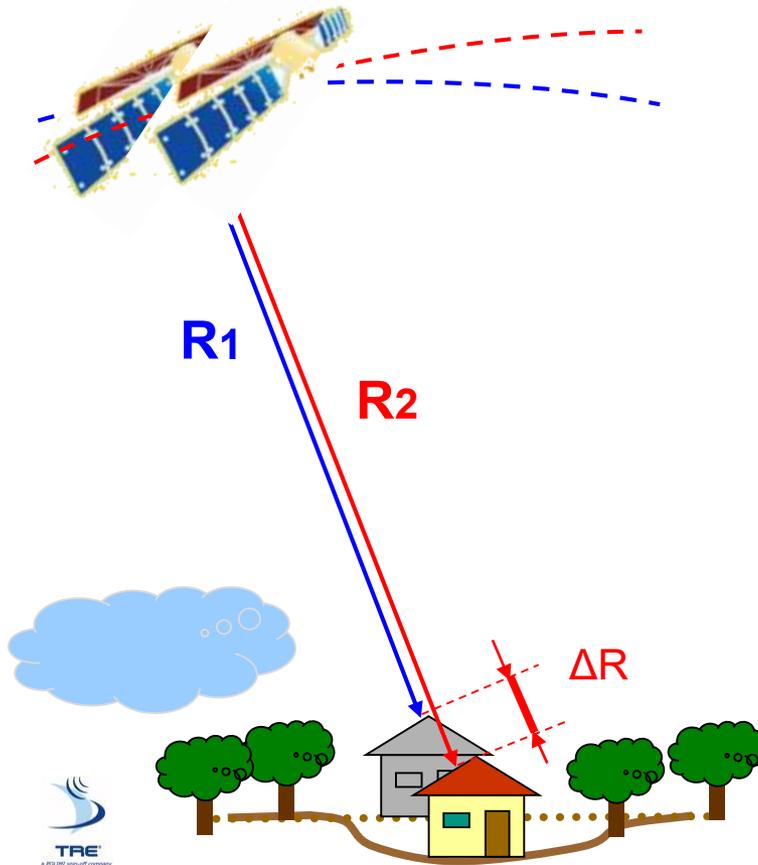


Synthetische Apertur-Radar (SAR):

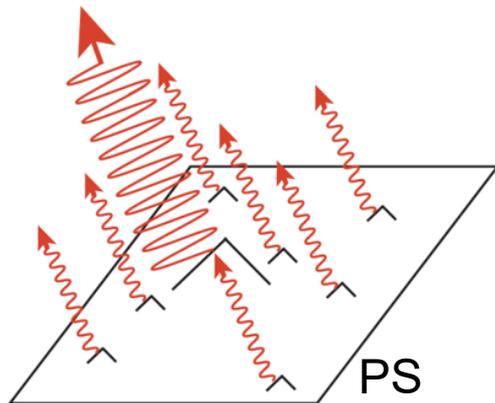
- Aussendung eines Signals in Schrägrichtung
- Aufzeichnung des zurückgestreuten Signals

Persistent Scatterer InSAR (PSInSAR):

- Längere Zeitreihen von SAR-Aufnahmen einer Szene, die mit der Gleichen Geometrie aufgenommen werden
- Statistische und andere Methoden werden angewandt, um die verschiedenen Bestandteile der Phase zu bestimmen
- Analyse für phasenstabile Pixel (zunächst PS)
- Nach einer adäquaten Vorprozessierung können Distributed Scatterers (DS) wie PS verwendet werden
- An den Positionen der PS und DS erhält man die Verschiebung in Sichtlinie (LoS) und eine Schätzung der Höhenmodellfehler

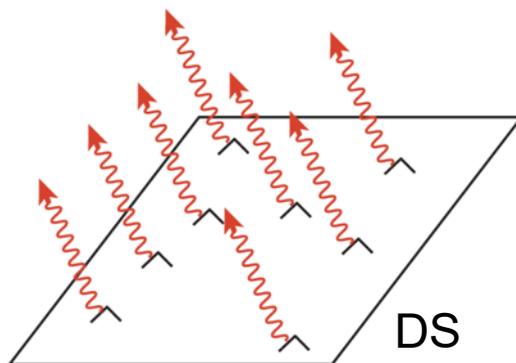


PS und DS



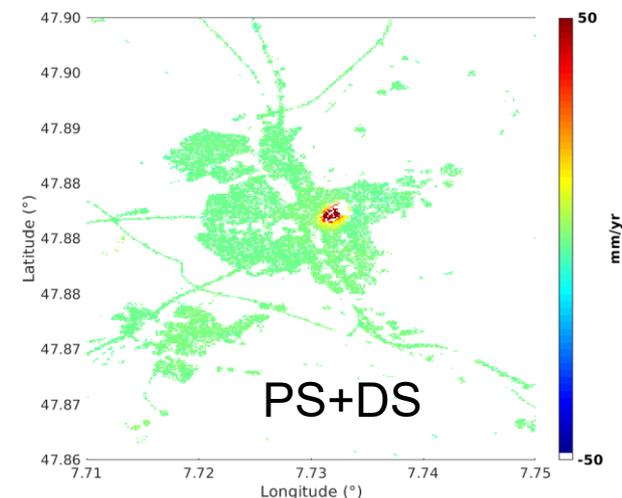
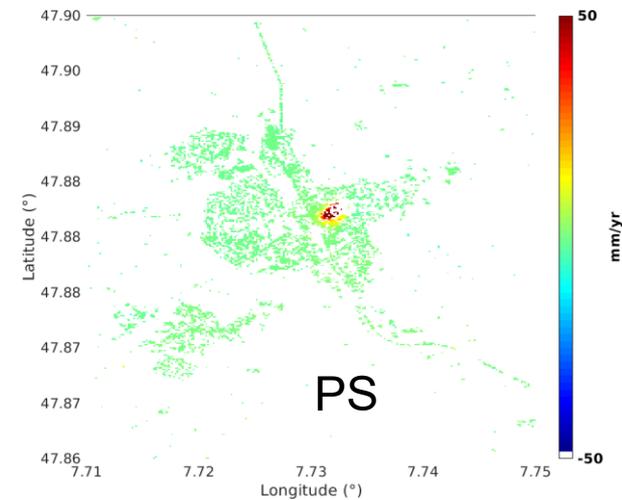
PS = in allen Aufnahmen ein starker Streuer in der Auflösungszelle

- trihedrale Strukturen an Gebäuden
- Pfosten
- Felsen
- ...



DS = Vielzahl etwa gleichstarker Streuer in der Auflösungszelle

- aride Gebiete
- Asphalt
- Bahnstrecken
- unbewachsene Bergehalden
- ...

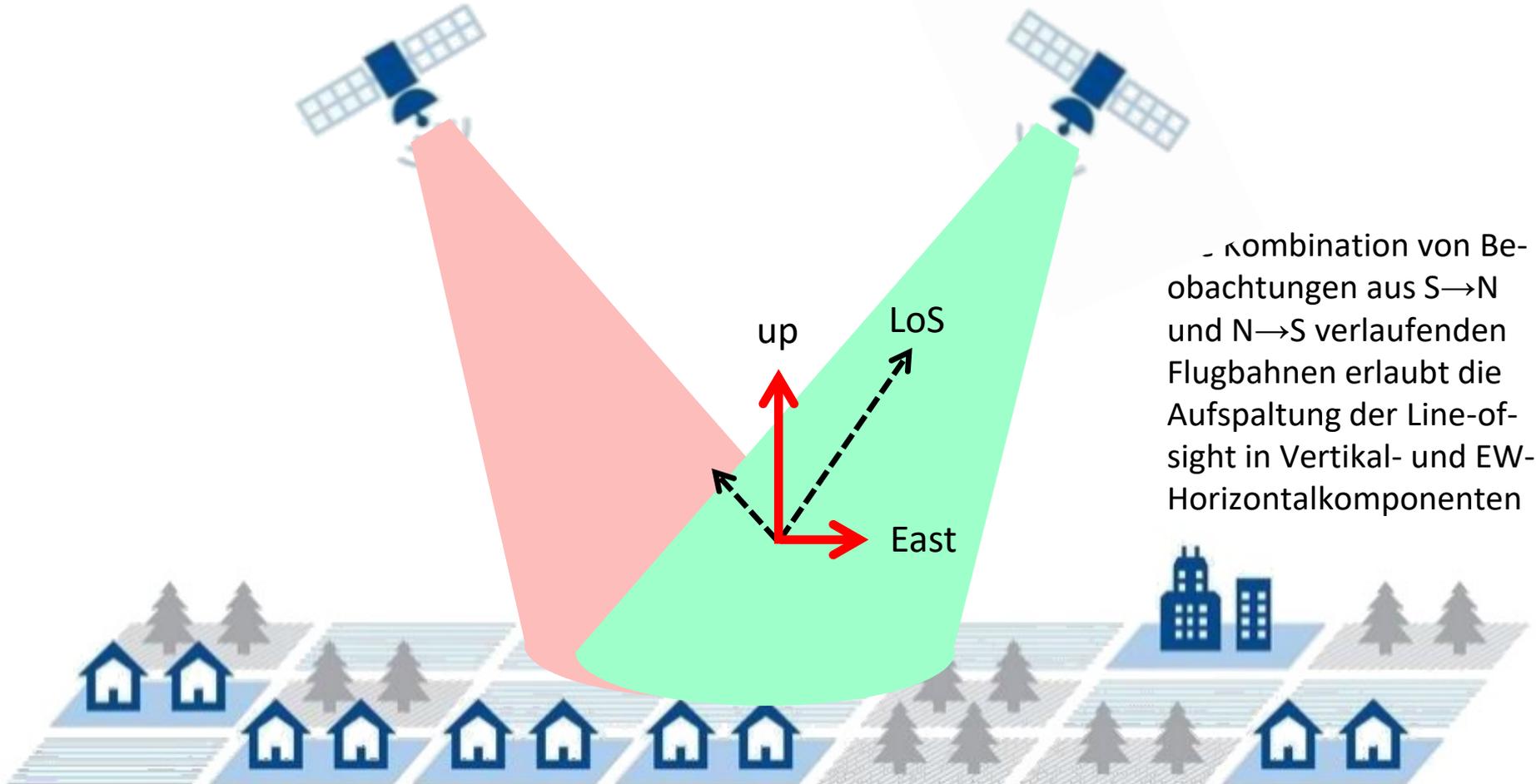


Orbitkombination



Aufsteigender Orbit

Absteigender Orbit



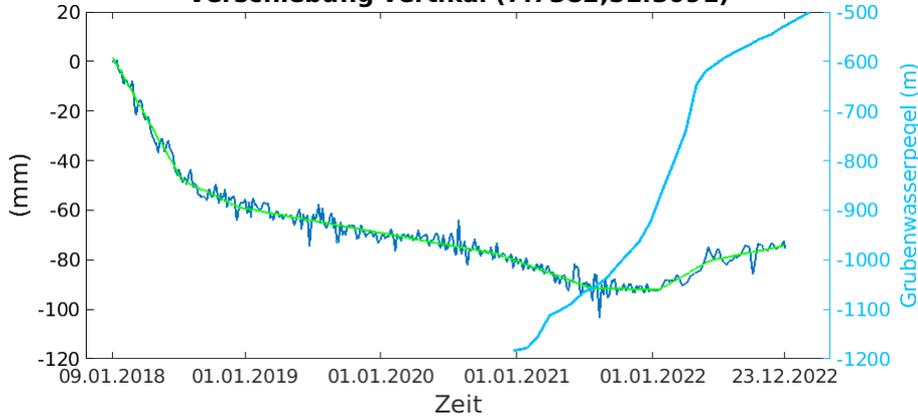


Ibbenbüren

Was kann man erwarten?



Verschiebung vertikal (7.7382,52.3091)

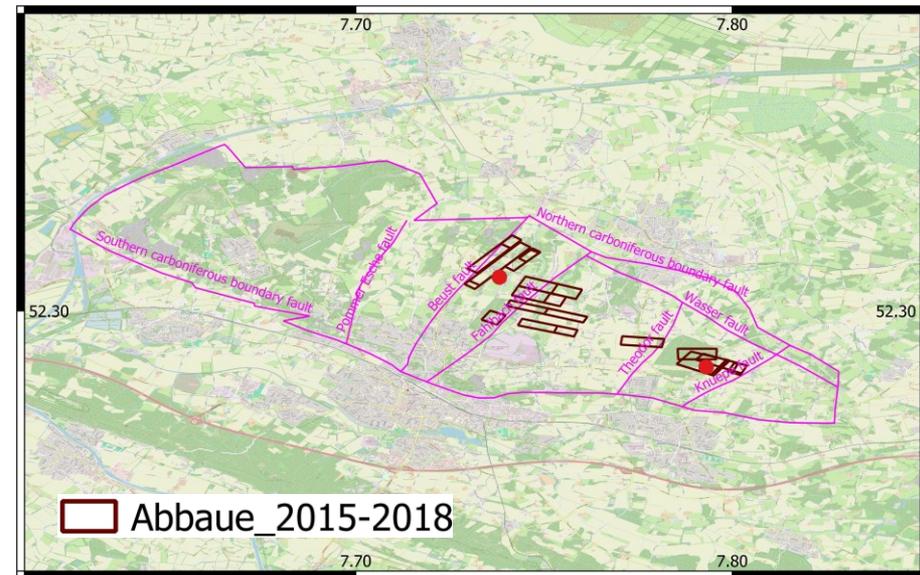
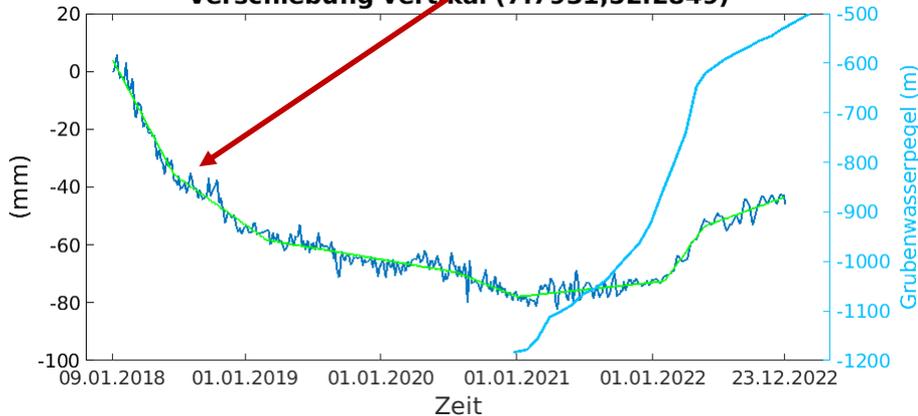


Beobachtungen zeigen, dass die Auswirkung steigender Grubenwasserpegel von den geomechanischen Verhältnissen bestimmt werden. Folgende Phasen können beobachtet werden:

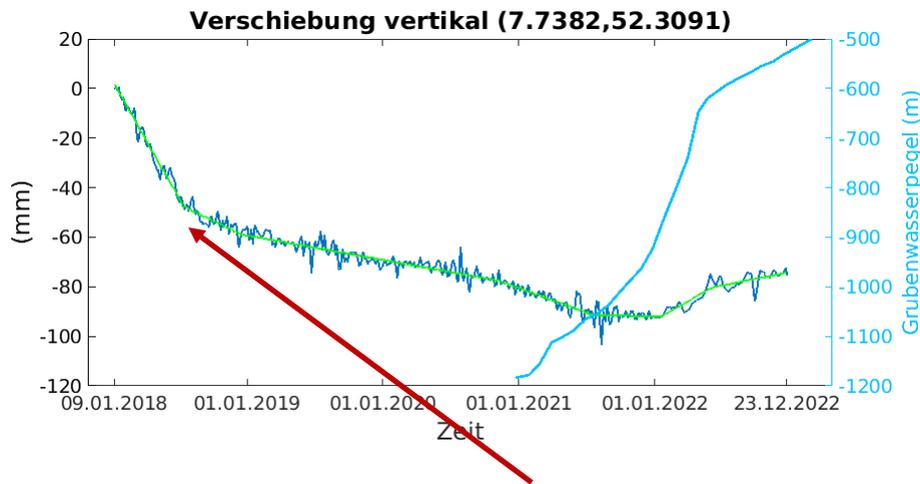
- schnelle Absenkungen während des aktiven Bergbaus

Östlich der Theodor-Verwerfung endete die Produktion am 07.06.2018

Verschiebung vertikal (7.7931,52.2849)



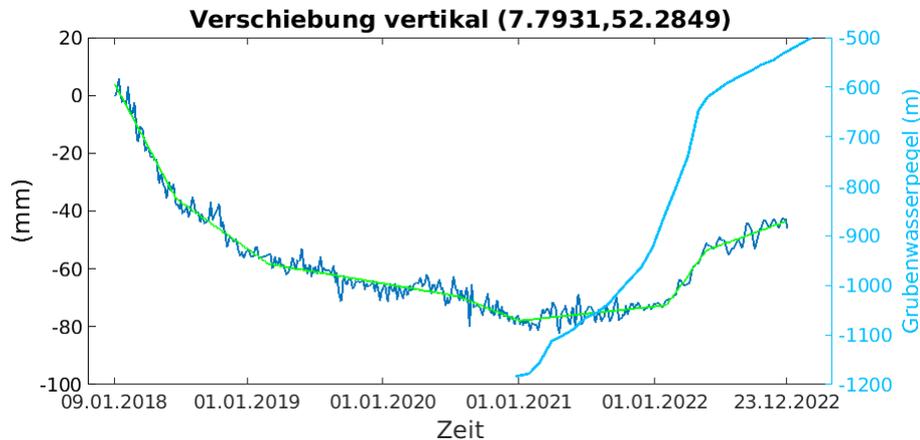
Was kann man erwarten?



Beobachtungen zeigen, dass die Auswirkung steigender Grubenwasserpegel von den geomechanischen Verhältnissen bestimmt werden. Folgende Phasen können beobachtet werden:

- schnelle Absenkungen während des aktiven Bergbaus

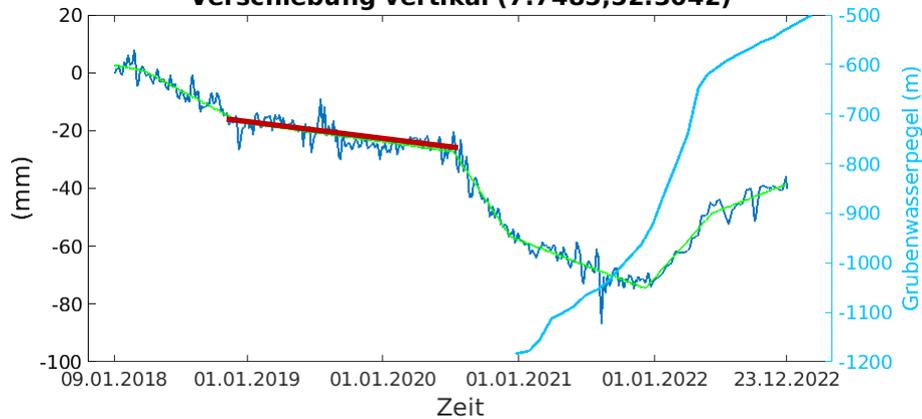
Zwischen der Beust- und der Fahlbach-Verwerfung endete die Produktion am 17.08.2018



Was kann man erwarten?



Verschiebung vertikal (7.7485,52.3042)

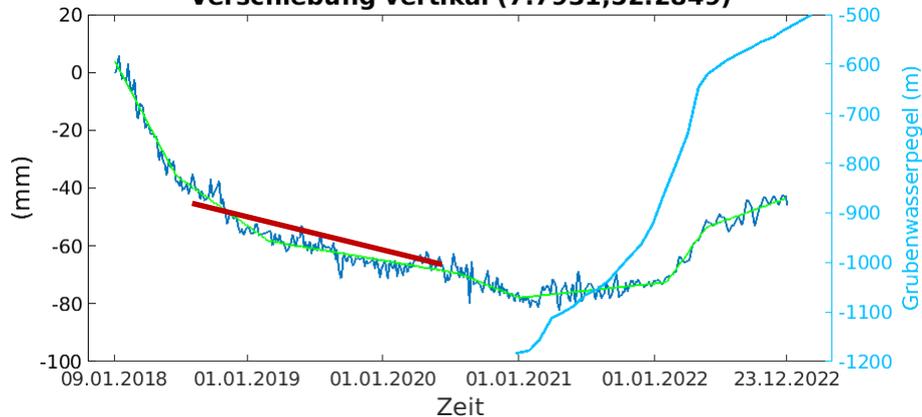


Beobachtungen zeigen, dass die Auswirkung steigender Grubenwasserpegel von den geomechanischen Verhältnissen bestimmt werden. Folgende Phasen können beobachtet werden:

- schnelle Absenkungen während des aktiven Bergbaus
- bis zu Jahre andauernde, langsamere Nachsenkungen nach Ende des Abbaus

Nachsenkungen nach Einstellung der Wasserhaltung

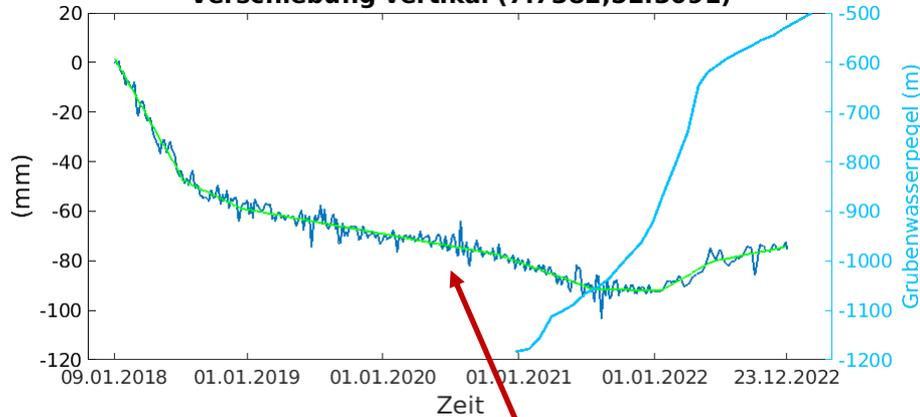
Verschiebung vertikal (7.7931,52.2849)



Was kann man erwarten?

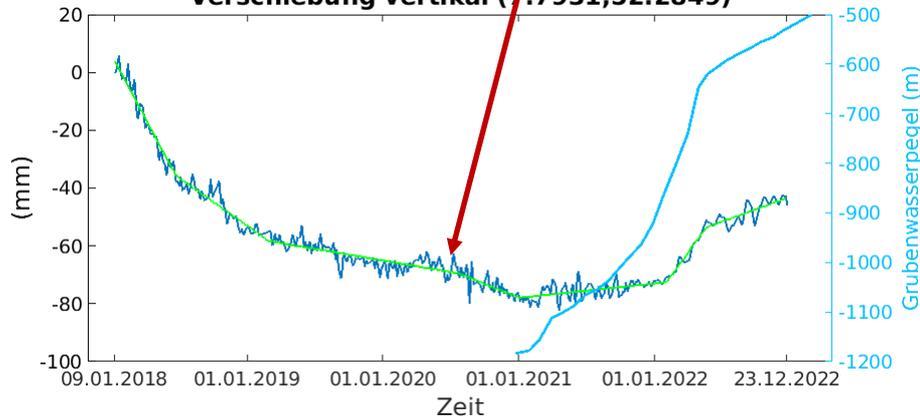


Verschiebung vertikal (7.7382,52.3091)



Einstellung der Wasserhaltung am Schacht Nord wurde 06.06.2020

Verschiebung vertikal (7.7931,52.2849)



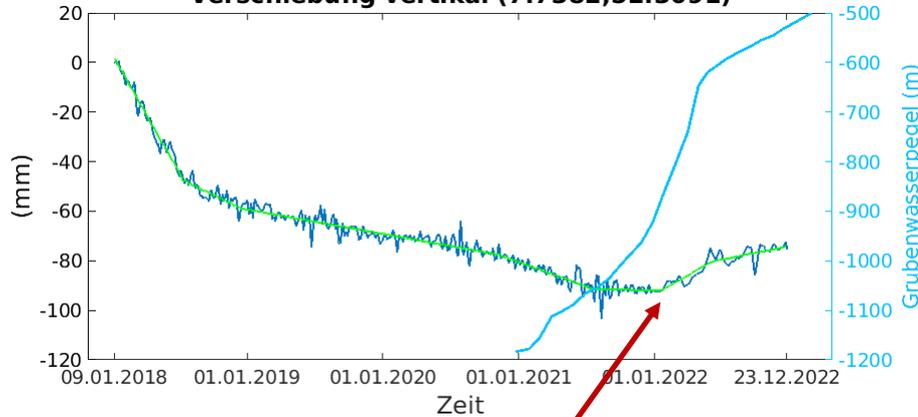
Beobachtungen zeigen, dass die Auswirkung steigender Grubenwasserpegel von den geomechanischen Verhältnissen bestimmt werden. Folgende Phasen können beobachtet werden:

- schnelle Absenkungen während des aktiven Bergbaus
- bis zu Jahre andauernde, langsamere Nachsenkungen nach Ende des Abbaus
- in der Anfangsphase des Grubenwasseranstiegs kann es zu einer Beschleunigung der Absenkungen kommen

Was kann man erwarten?

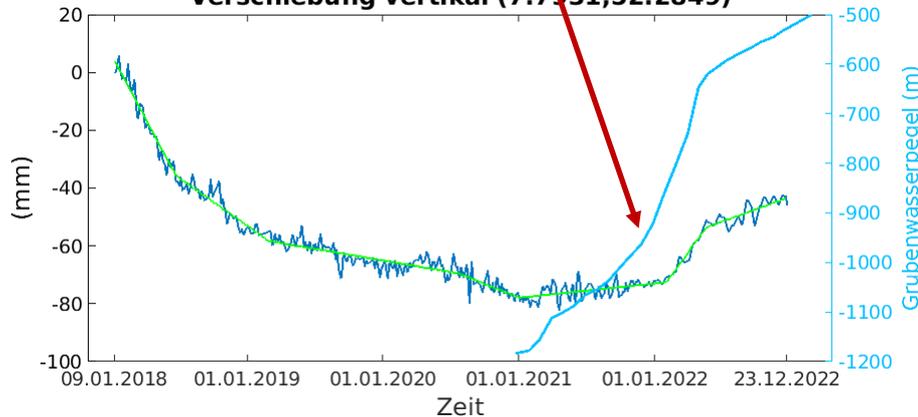


Verschiebung vertikal (7.7382,52.3091)



Beginn von Hebungen Ende 2021

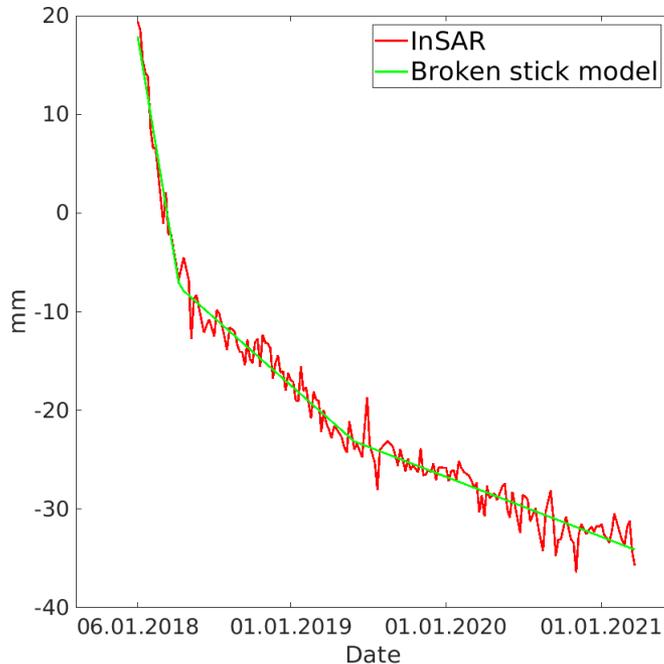
Verschiebung vertikal (7.7931,52.2849)



Beobachtungen zeigen, dass die Auswirkung steigender Grubenwasserpegel von den geomechanischen Verhältnissen bestimmt werden. Folgende Phasen können beobachtet werden:

- schnelle Absenkungen während des aktiven Bergbaus
- bis zu Jahre andauernde, langsamere Nachsenkungen nach Ende des Abbaus
- in der Anfangsphase des Grubenwasseranstiegs kann es zu einer Beschleunigung der Absenkungen kommen
- nachdem sich ein ausreichender Druck aufgebaut hat hebt sich die Erdoberfläche proportional zum weiteren Anstieg des Grubenwasserpegels

Analyse mit Broken-Stick-Modellen



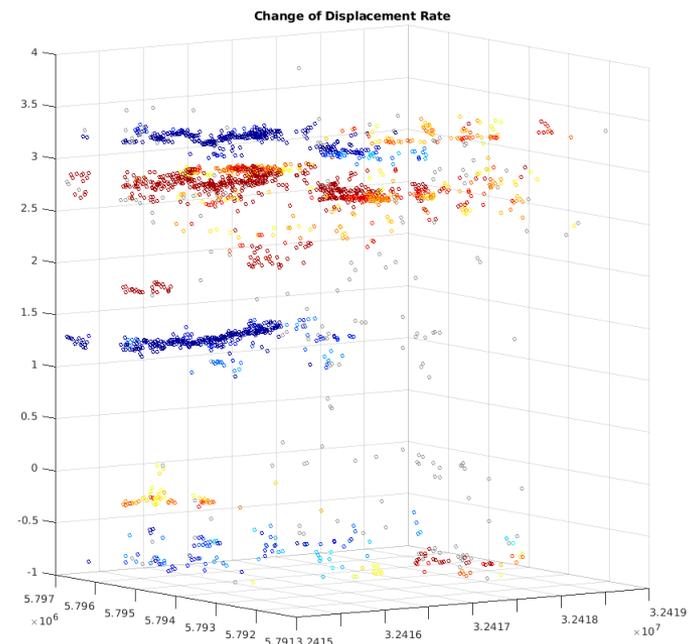
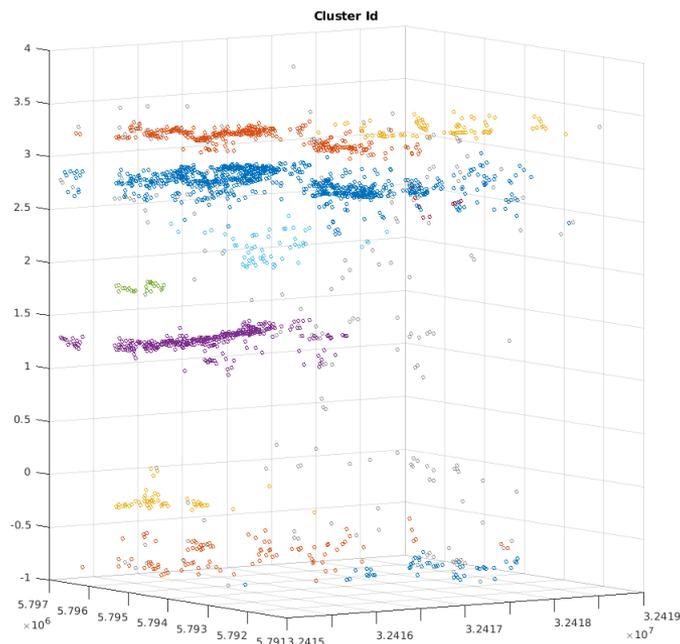
- Die Beispielzeitreihen legen ein Broken Stick-Modell mit mehreren Bruchpunkten nahe. Dieses Modell ist stückweise linear und hat folgende Parameter:
 1. die Lage der Bruchpunkte, d.h. Zeitpunkte, wenn sich die Bewegungsrate ändert
 2. die Rate vor dem ersten Bruchpunkt
 3. die Änderung der Rate nach den Bruchpunkten
 4. eine Konstante

Das Broken-Stick-Modell wird verwendet, um zu erfassen, wann sich wo die Bewegung ändert.

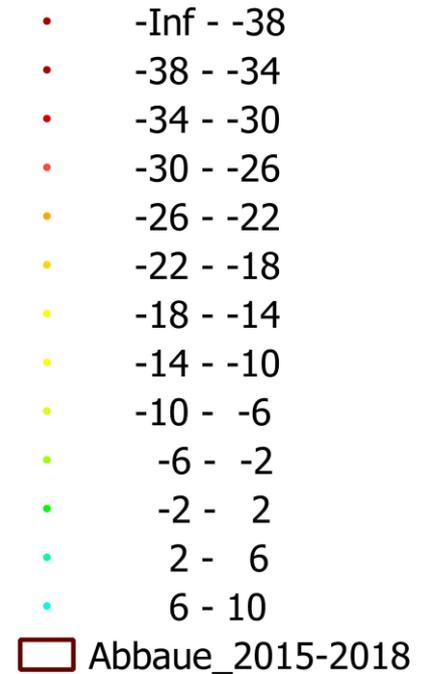
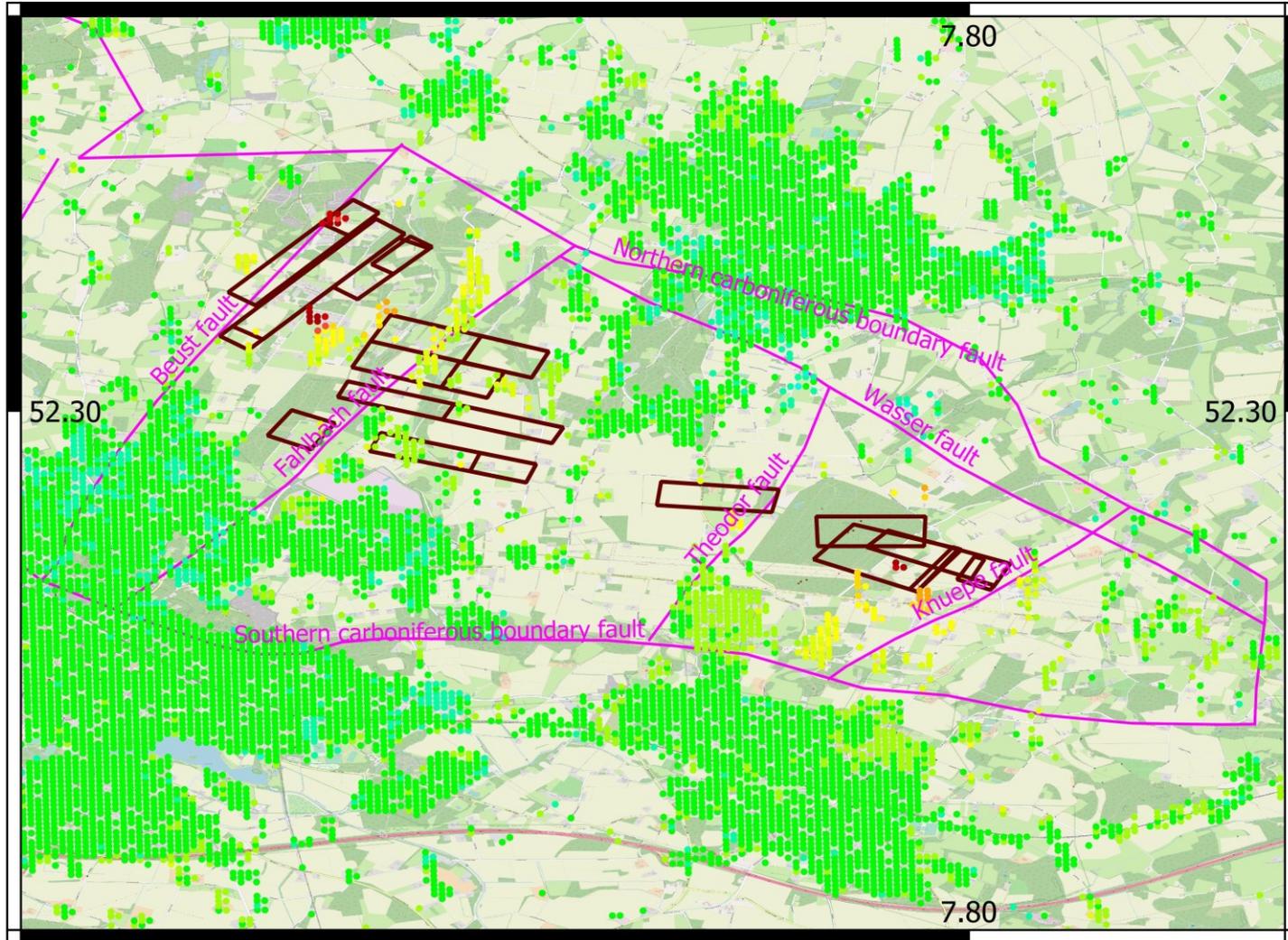
Analyse der Bewegungsmuster



1. Fitten eines Broken-Stick-Modells an die Zeitreihen
2. Bilden von Clustern der Messungen, für die sich die Bewegungsrate um mehr als 5 mm/y nach dem Bruchpunkt ändert
3. Die mittleren Bruchzeiten jeden Clusters werden zur Einteilung in Zeitabschnitte benutzt, für die jeweils die kumulierte Verschiebung berechnet wird.

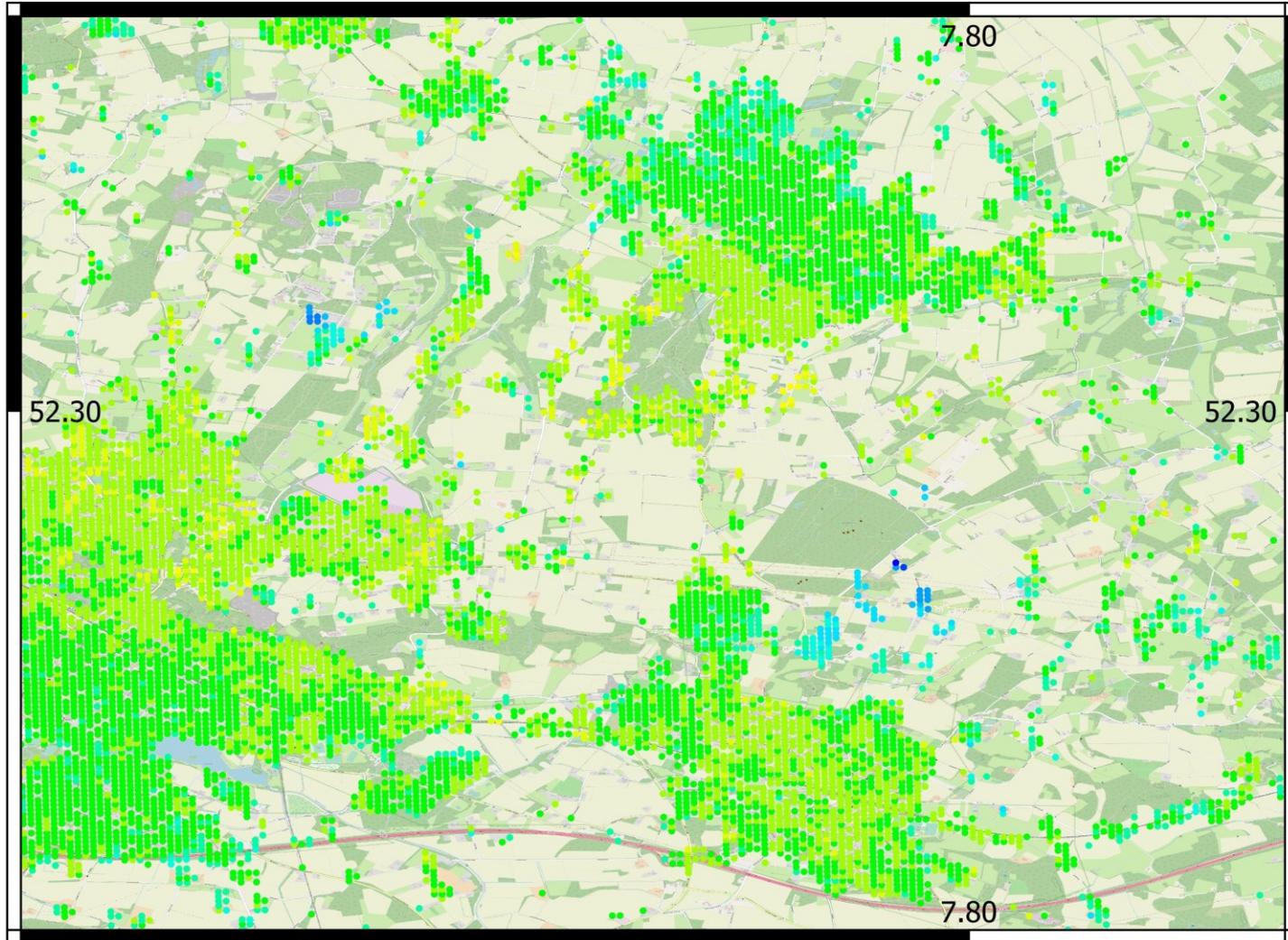


Kumulierte Verschiebung (mm) 09.01.2018-23.05.2018



Änderung Rate (mm/y) nach dem 23.05.2018

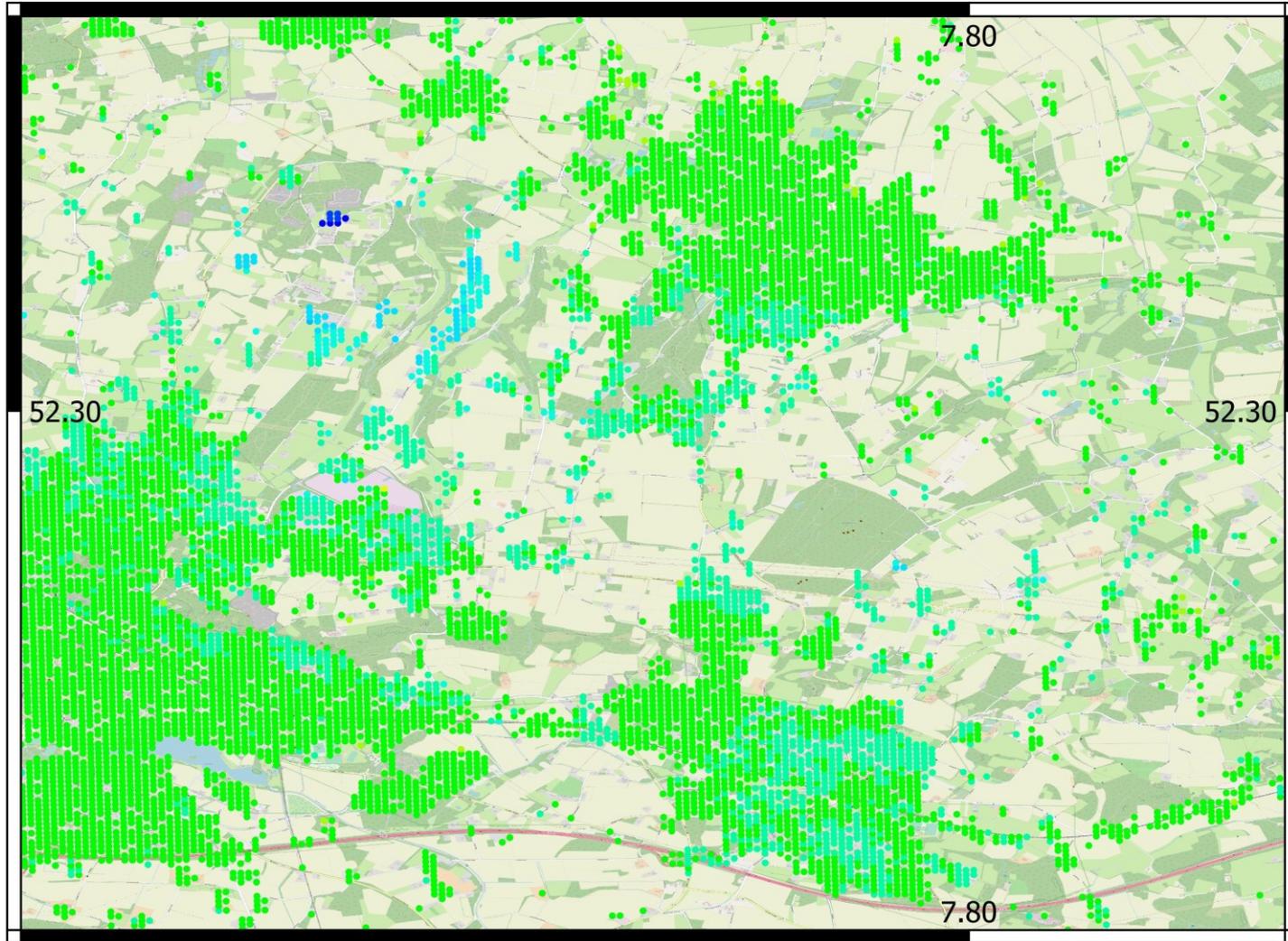
Verlangsamung nach Ende des Abbaus



- -36 - -28
- -28 - -20
- -20 - -12
- -12 - -4
- -4 - 4
- 4 - 12
- 12 - 20
- 20 - 28
- 28 - 36
- 36 - 44
- 44 - 52
- 52 - 60
- 60 - 68
- 76 - Inf

Änderung Rate (mm/y) nach dem 11.12.2018

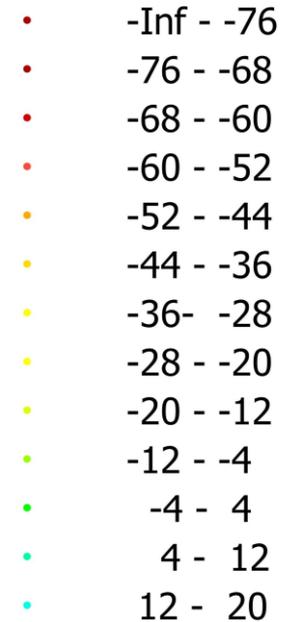
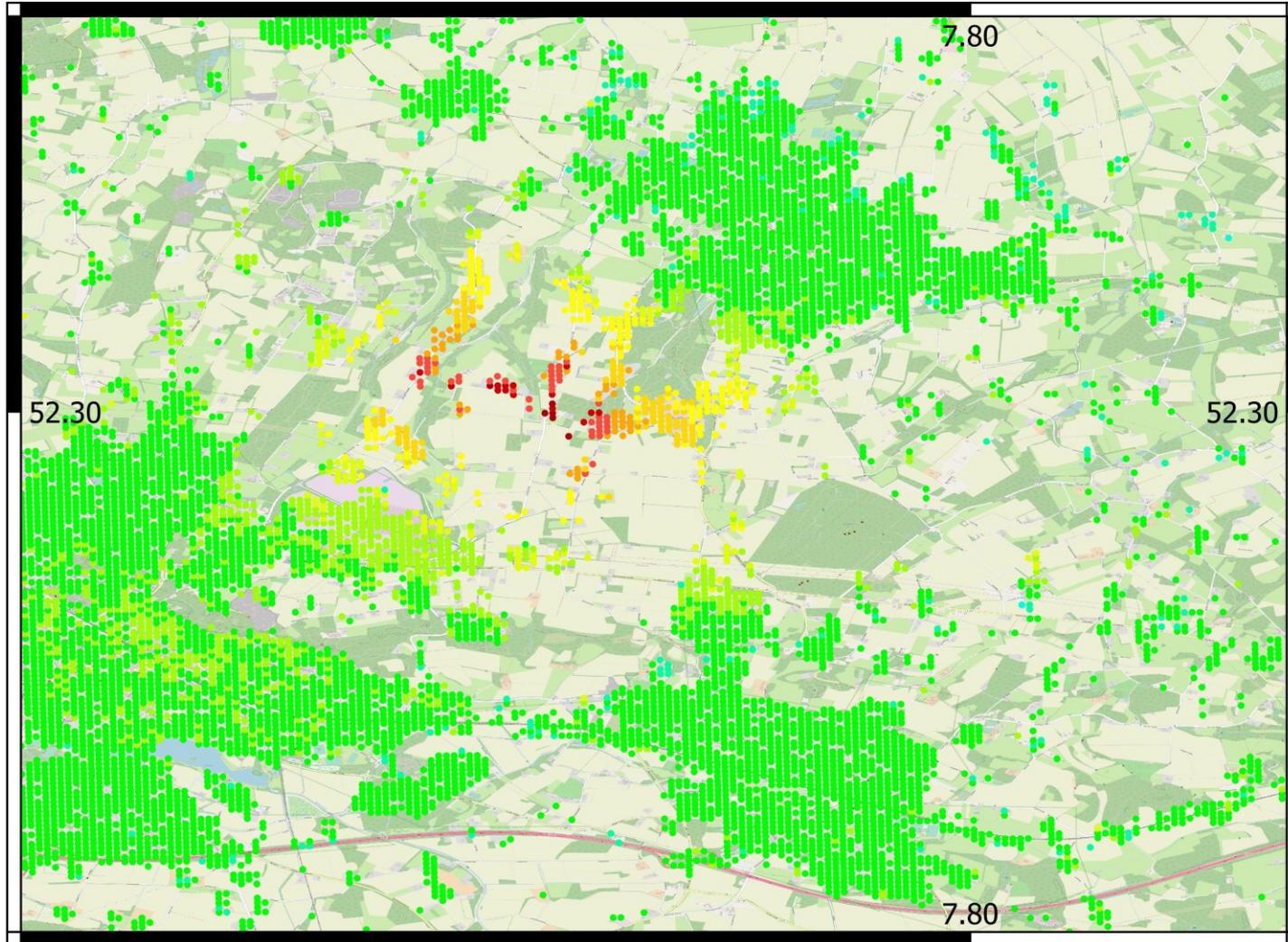
Verlangsamung nach Ende des Abbaus



- -22.5 - -13.5
- -13.5 - -4.5
- -4.5 - 4.5
- 4.5 - 13.5
- 13.5 - 22.5
- 22.5 - 31.5
- 31.5 - 40.5
- 40.5 - 49.5
- 67.5 - 76.5
- 76.5 - 85.5
- 85.5 - Inf

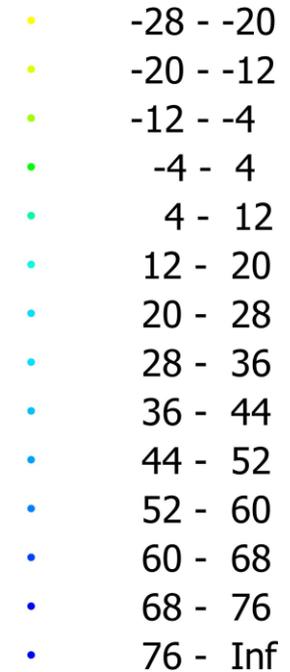
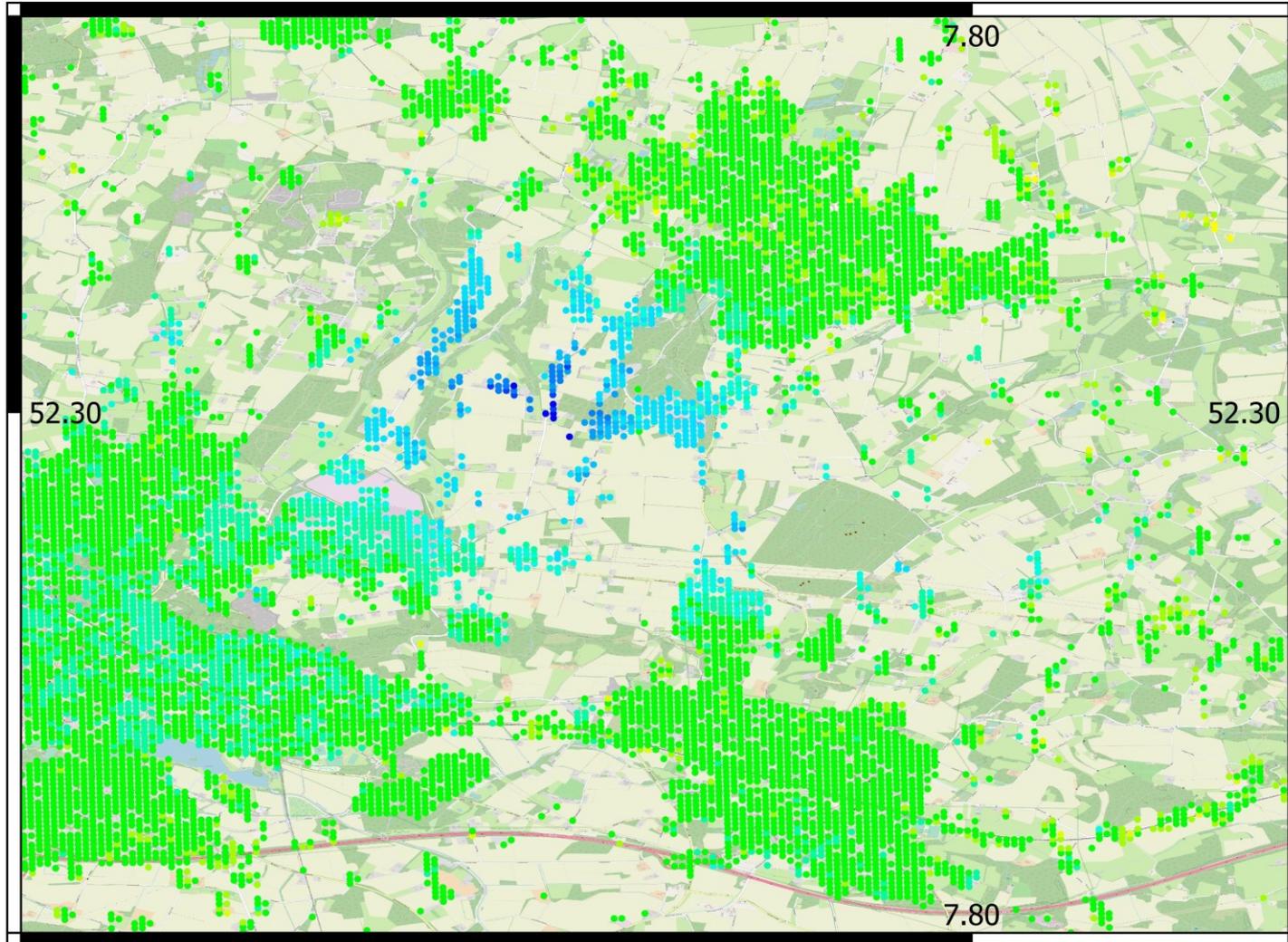
Änderung Rate (mm/y) nach dem 27.06.2020

Beschleunigte Absenkung nach beginnendem Anstieg des Grubenwassers



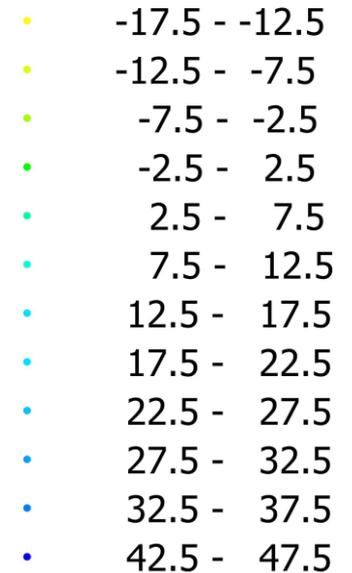
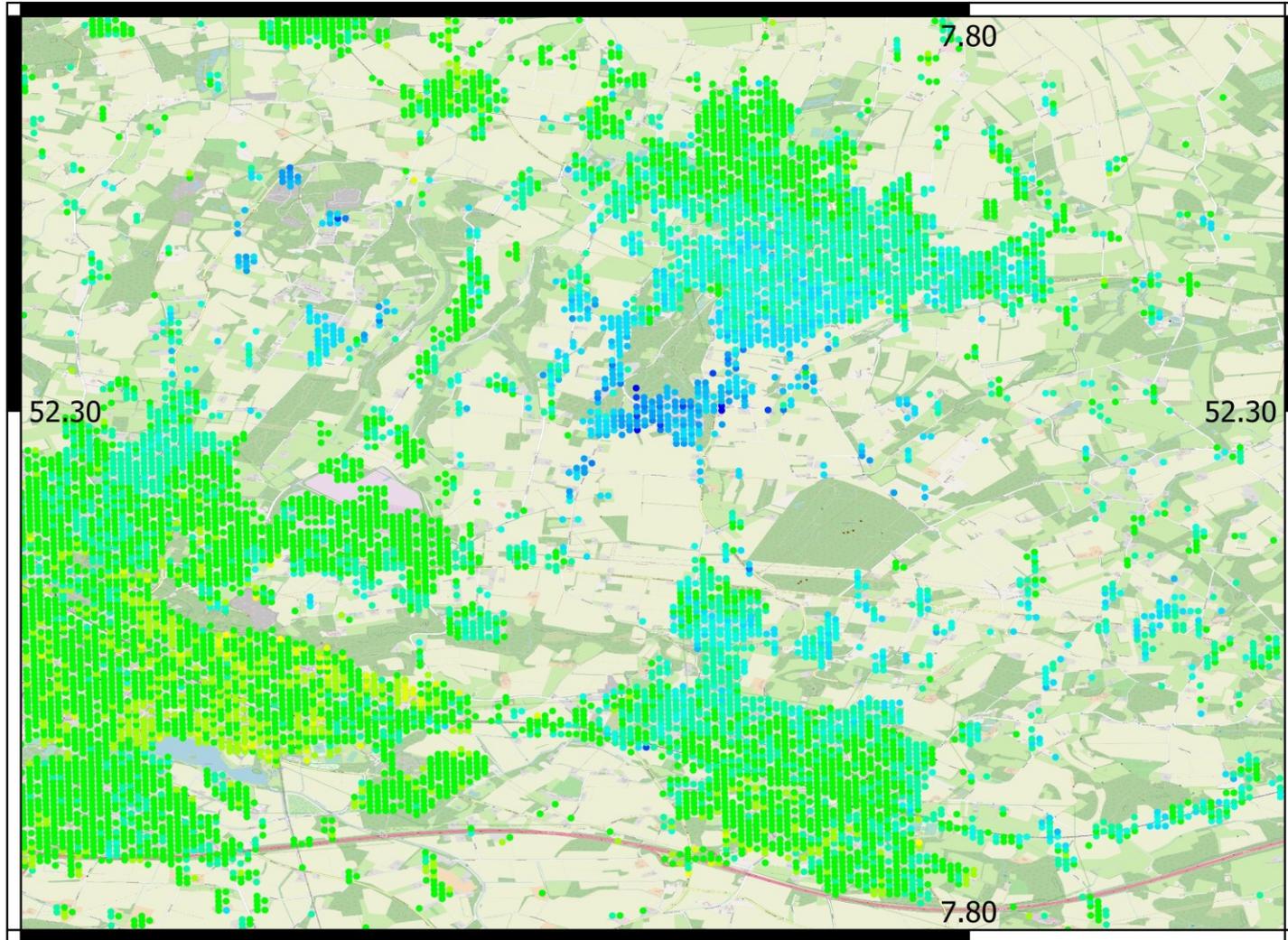
Änderung Rate (mm/y) nach dem 28.12.2020

Einsetzen der Hebung



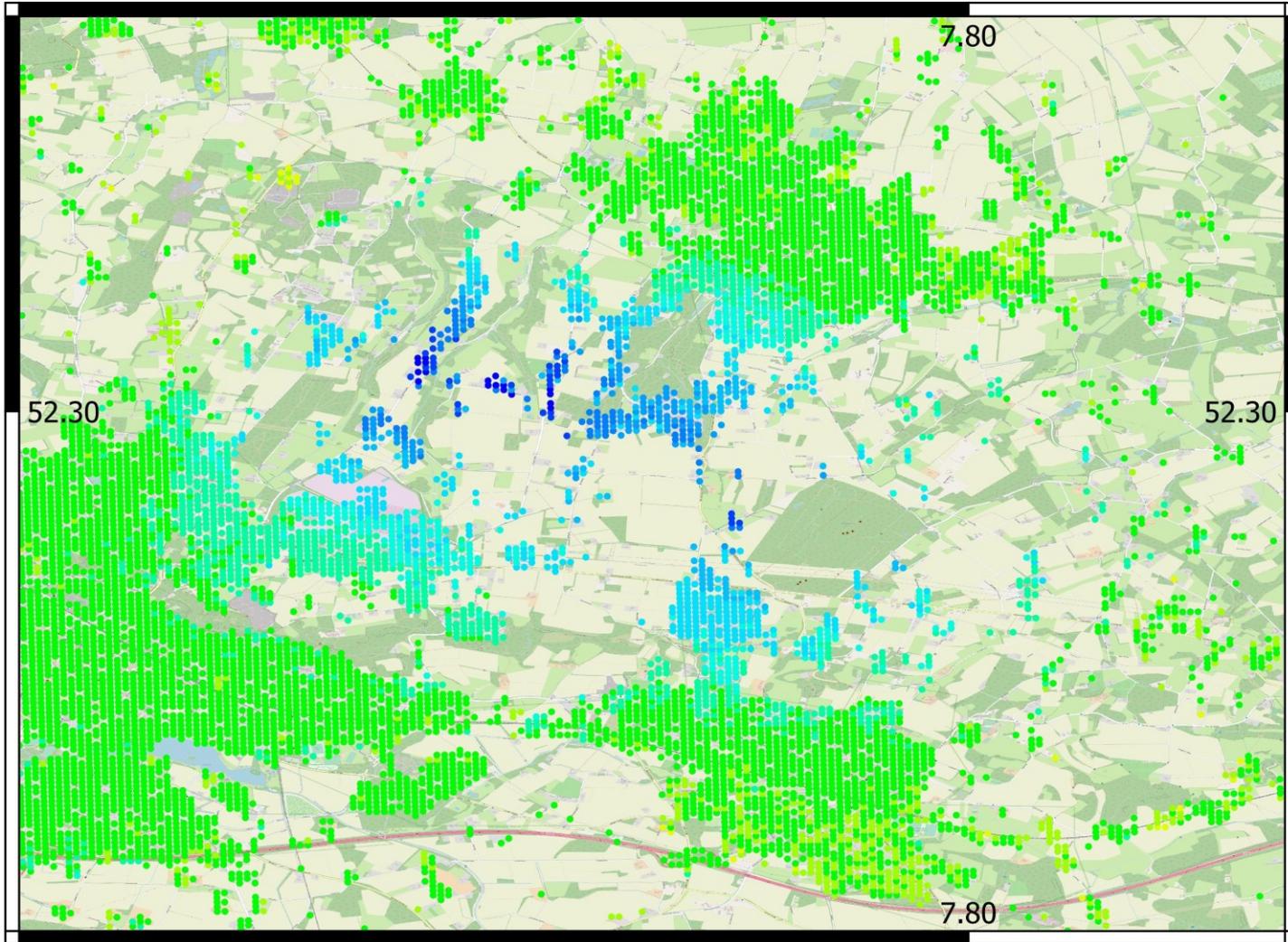
Änderung Rate (mm/y) nach dem 14.04.2021

Beschleunigte Hebung



Änderung Rate (mm/y) nach dem 24.12.2021

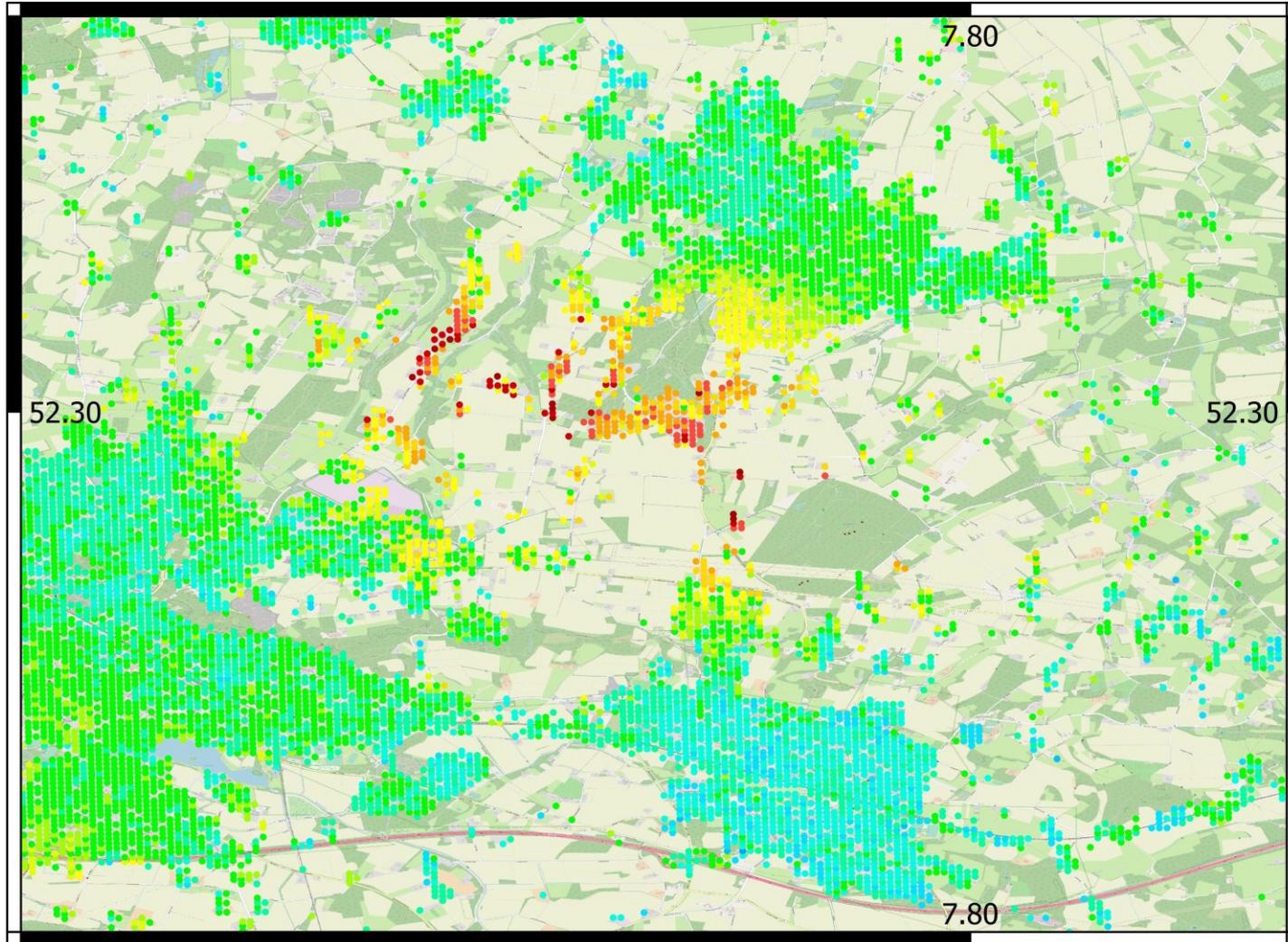
Beschleunigte Hebung



- -20 - -12
- -12 - -4
- -4 - 4
- 4 - 12
- 12 - 20
- 20 - 28
- 28 - 36
- 36 - 44
- 44 - 52
- 52 - 60
- 60 - 68
- 68 - 76
- 76 - Inf

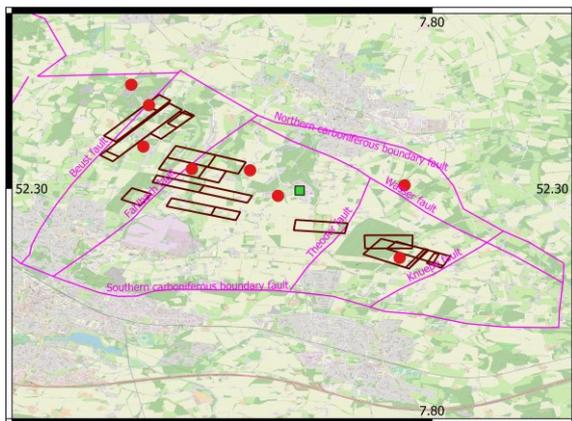
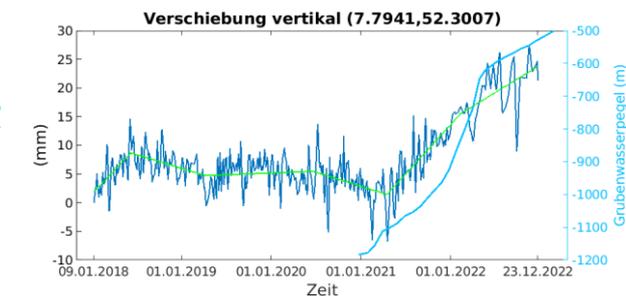
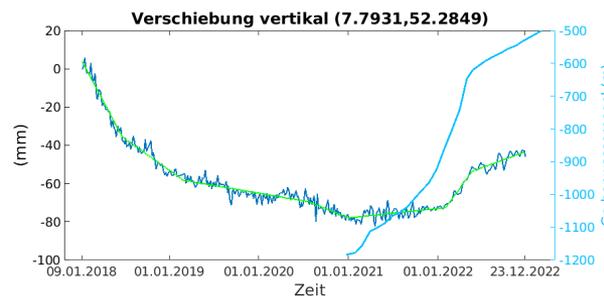
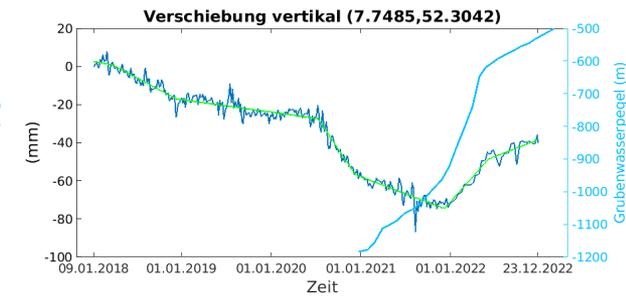
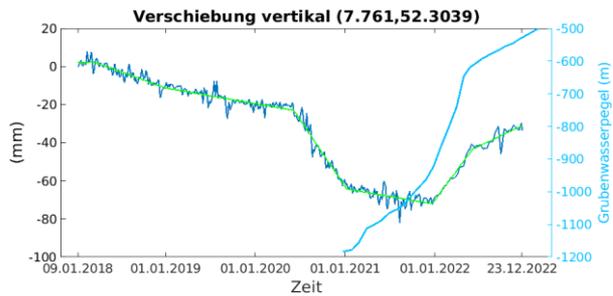
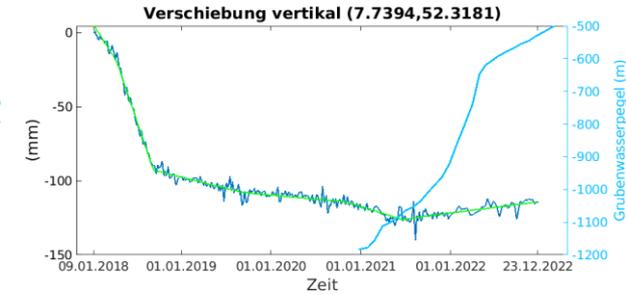
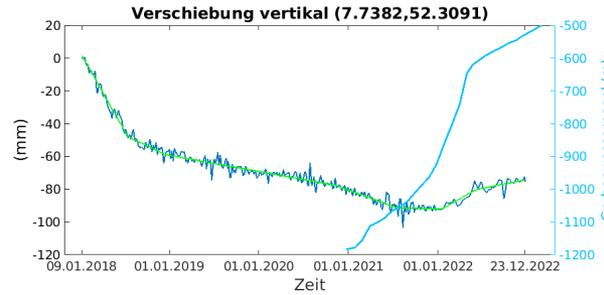
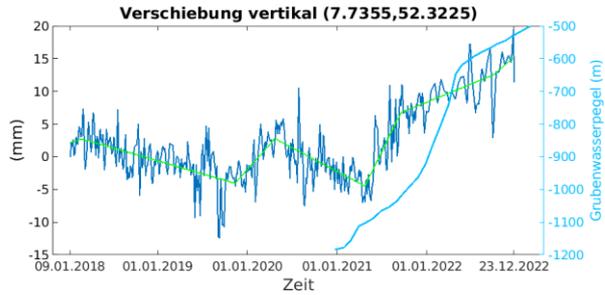
Änderung Rate (mm/y) nach dem 24.06.2022

Verlangsamte Hebung mit verlangsamtem Grubenwasseranstieg



- -Inf - -47.5
- -47.5 - -42.5
- -42.5 - -37.5
- -37.5 - -32.5
- -32.5 - -27.5
- -27.5 - -22.5
- -22.5 - -17.5
- -17.5 - -12.5
- -12.5 - -7.5
- -7.5 - -2.5
- -2.5 - 2.5
- 2.5 - 7.5
- 7.5 - 12.5
- 12.5 - 17.5
- 17.5 - 22.5
- 22.5 - 27.5
- 27.5 - 32.5

Beispielzeitreihen

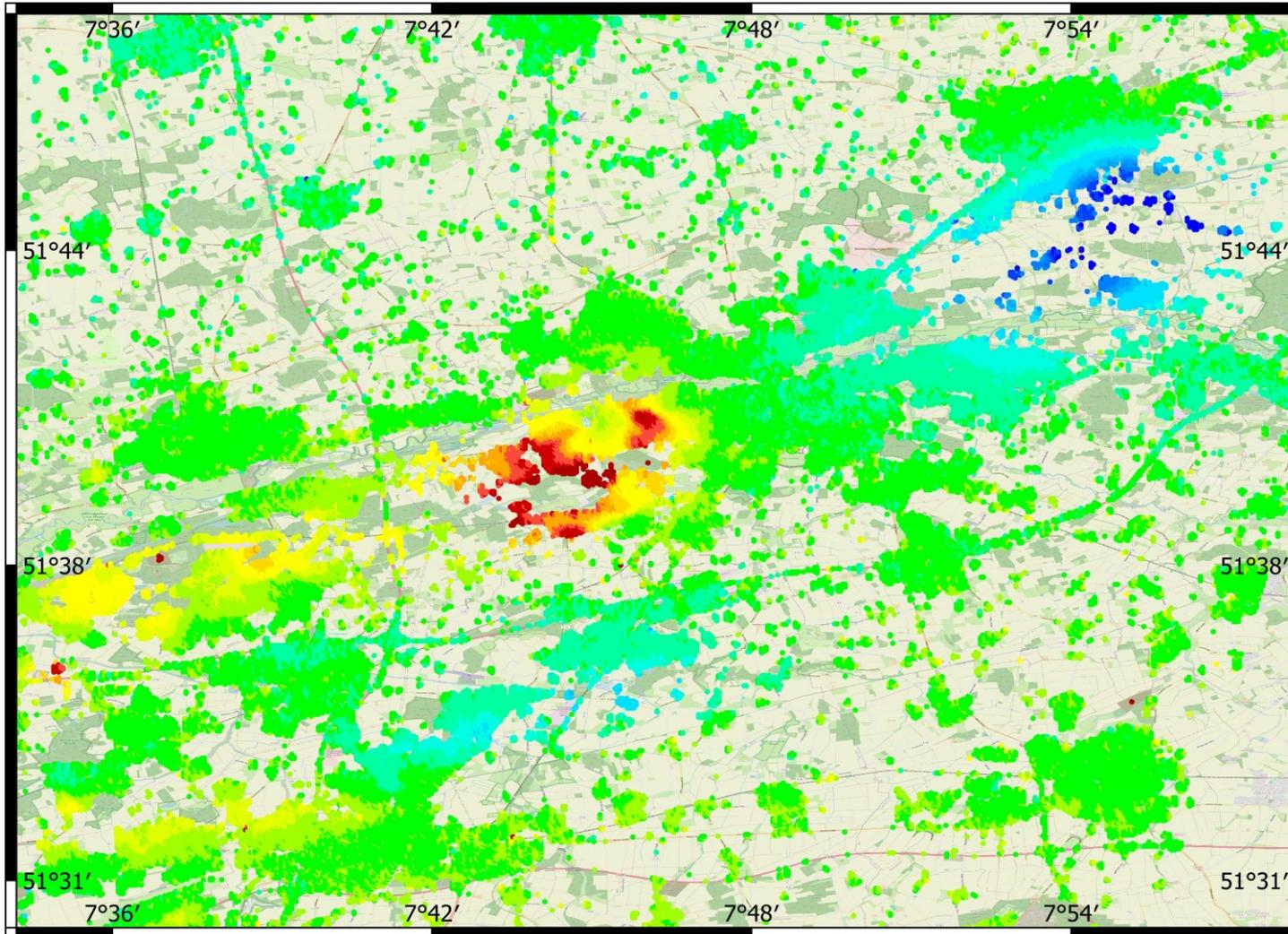


- Beispiel-PS
- Grubenwassermessung
- Abbaue_2015-2018



östliches Ruhrgebiet

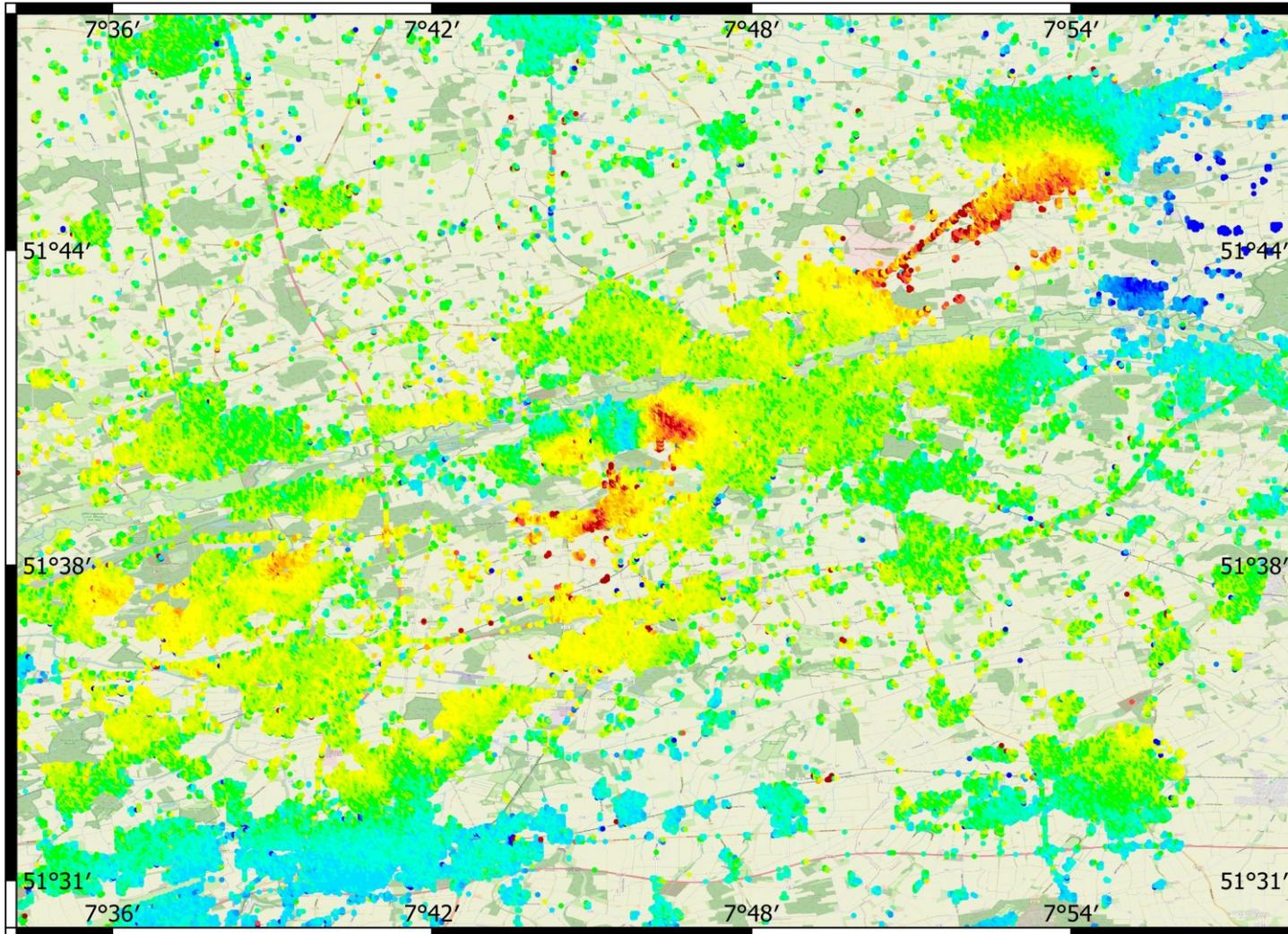
Kumulierte vertikale Verschiebungen Januar 2018 bis Dezember 2022



- -Inf - -57
- -57 - -51
- -51 - -45
- -45 - -39
- -39 - -33
- -33 - -27
- -27 - -21
- -21 - -15
- -15 - -9
- -9 - -3
- -3 - 3
- 3 - 9
- 9 - 15
- 15 - 21
- 21 - 27
- 27 - 33
- 33 - 39
- 39 - 45
- 45 - 51
- 51 - 57
- 57 - Inf

OpenStreetMap

Kumulierte Ost-West-Verschiebungen Januar 2018 bis Dezember 2022



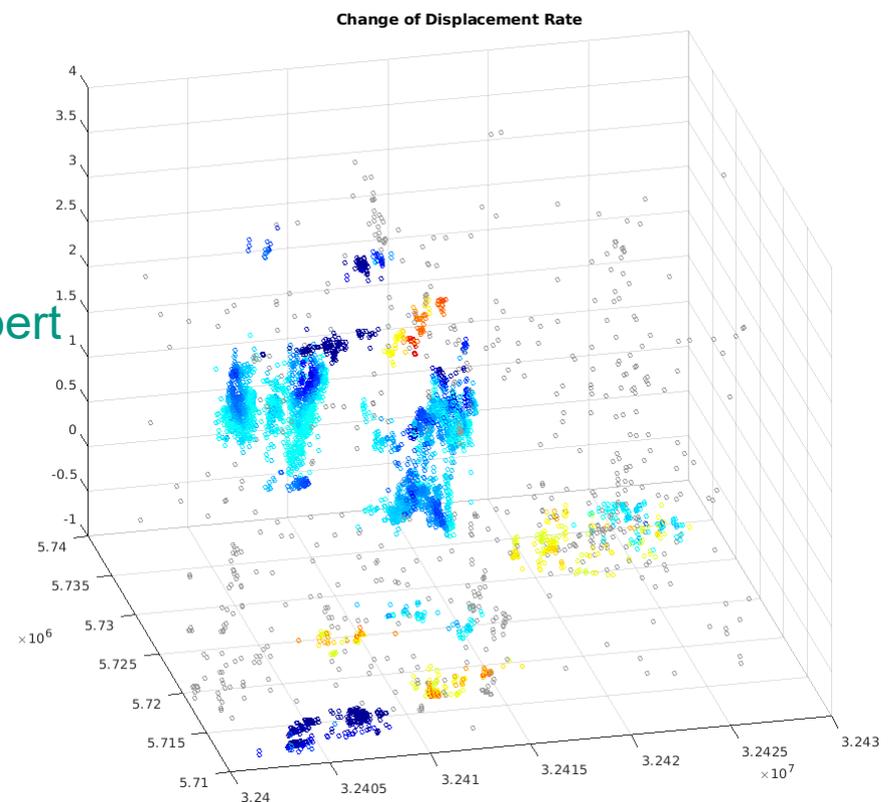
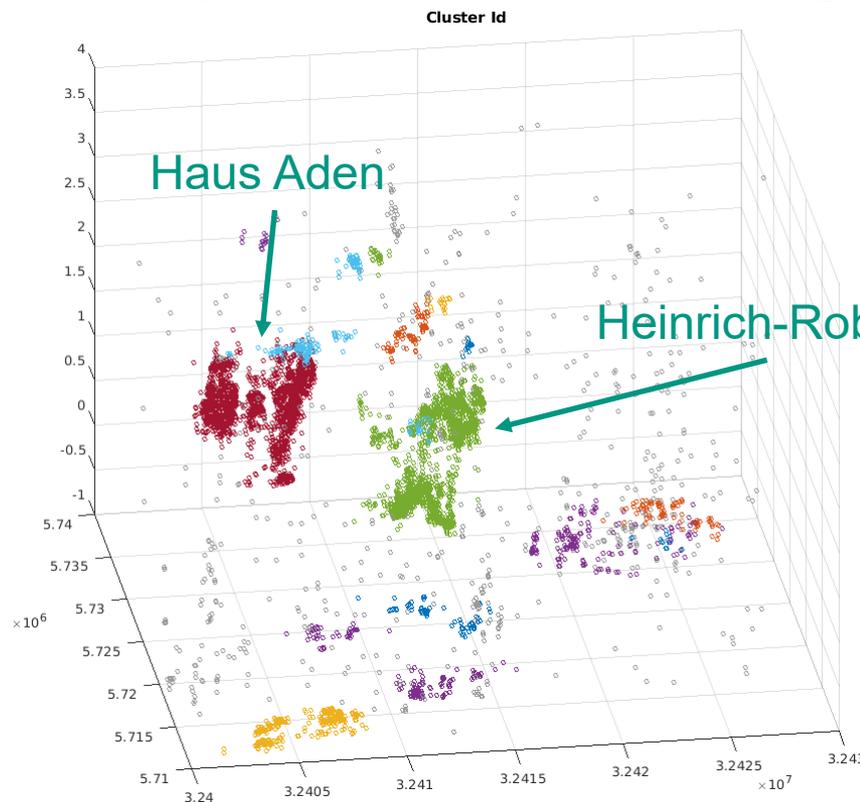
- -Inf - -19
- -19 - -17
- -17 - -15
- -15 - -13
- -13 - -11
- -11 - -9
- -9 - -7
- -7 - -5
- -5 - -3
- -3 - -1
- -1 - 1
- 1 - 3
- 3 - 5
- 5 - 7
- 7 - 9
- 9 - 11
- 11 - 13
- 13 - 15
- 15 - 17
- 17 - 19
- 19 - Inf

OpenStreetMap

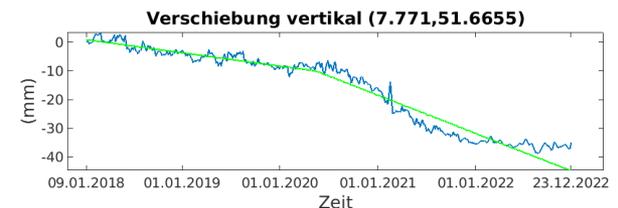
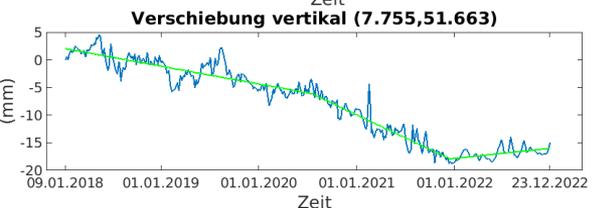
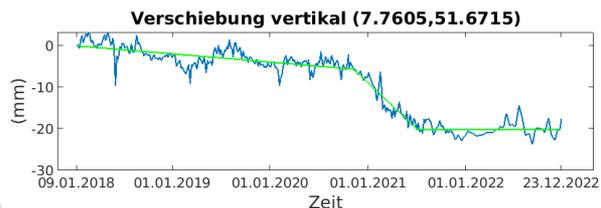
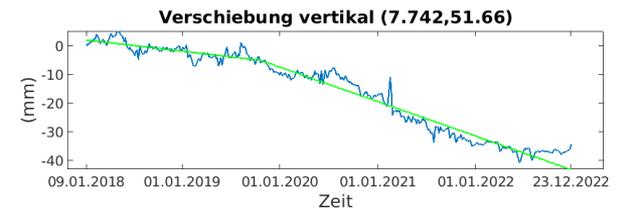
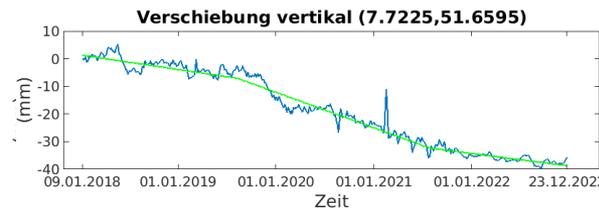
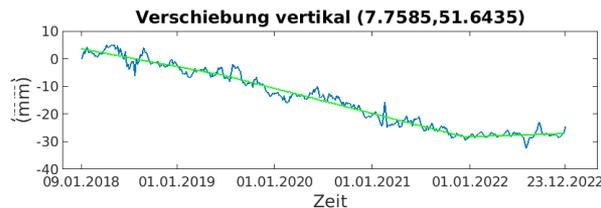
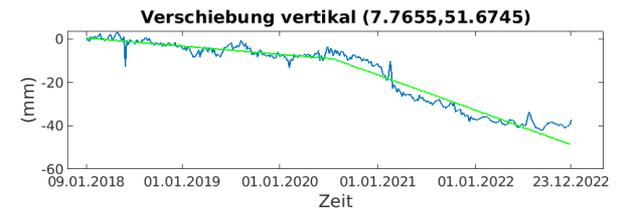
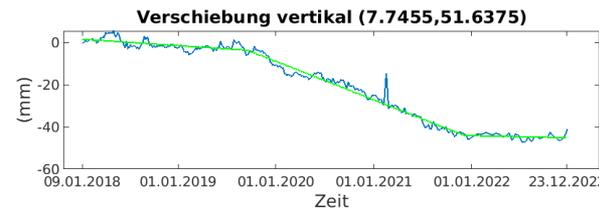
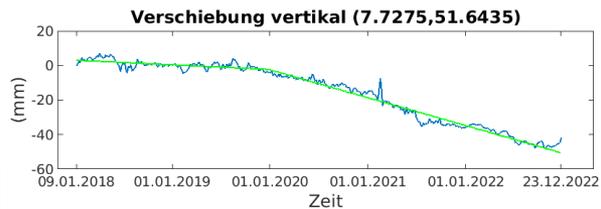
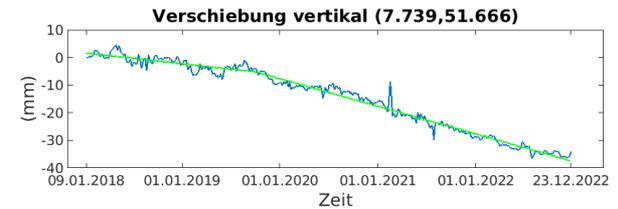
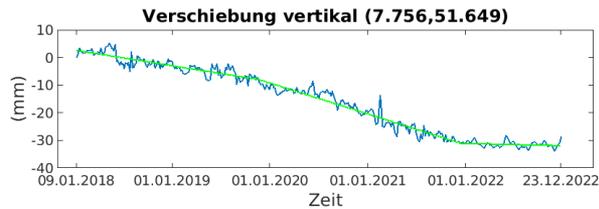
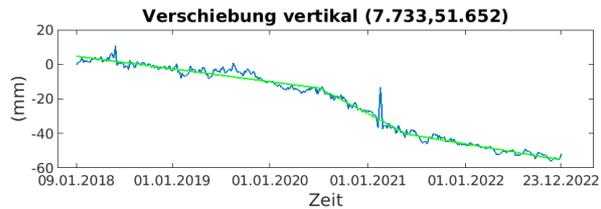
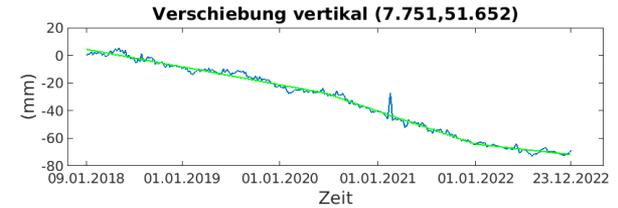
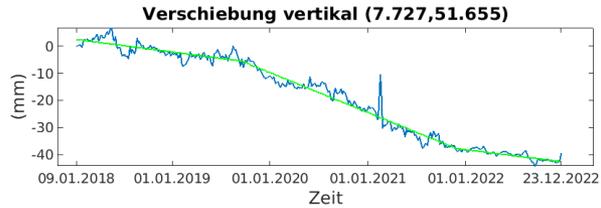
Analyse der Bewegungsmuster



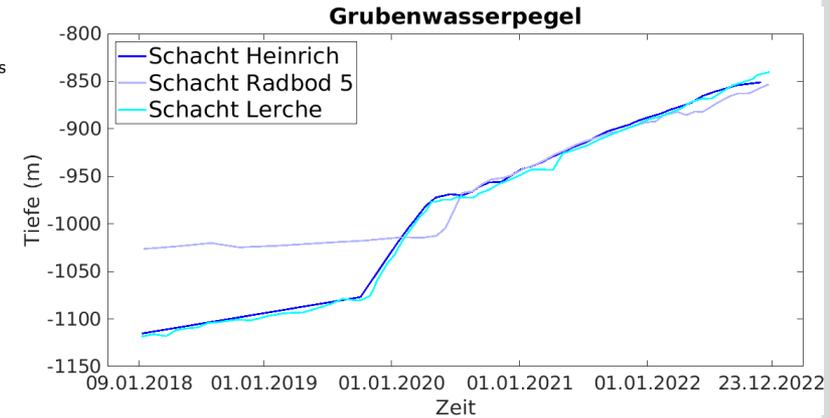
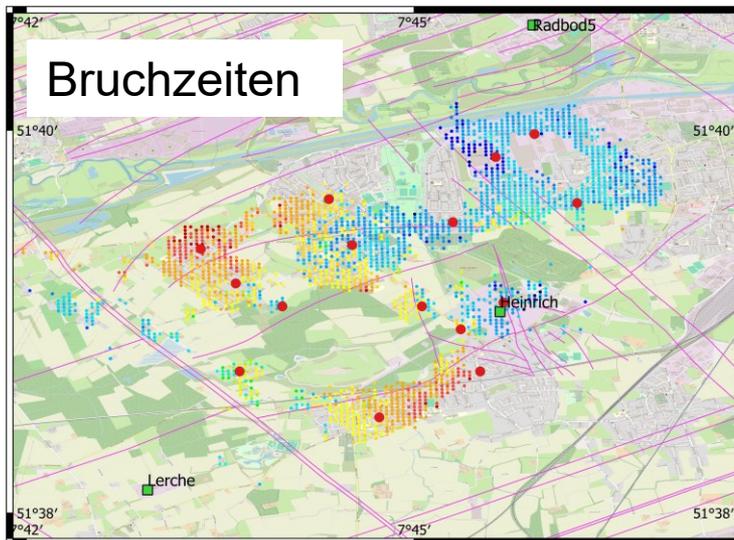
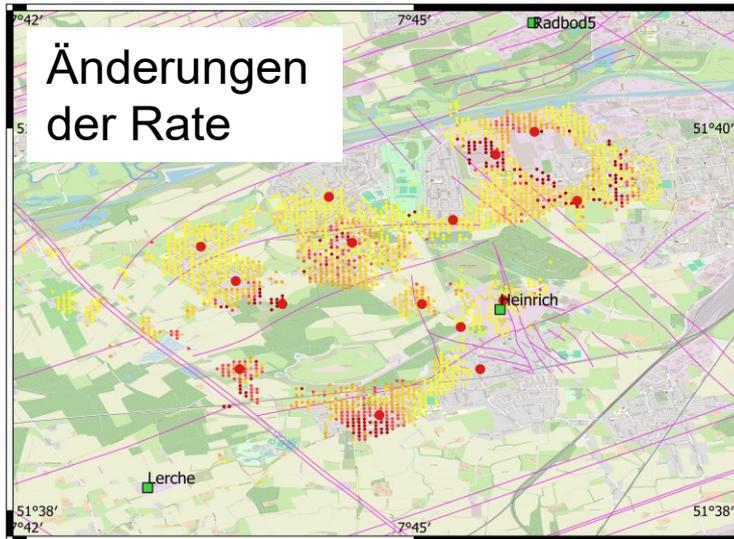
1. Fitten eines Broken-Stick-Models an die Zeitreihen
2. Bilden von Clustern der Messungen, für die sich die Bewegungsrate um mehr als 5 mm/y nach dem Bruchpunkt ändert
3. Die mittleren Bruchzeiten jeden Clusters werden zur Einteilung in Zeitabschnitte benutzt, für die jeweils die kumulierte Verschiebung berechnet wird.



Beispielzeitreihen Heinrich-Robert



Cluster Heinrich-Robert

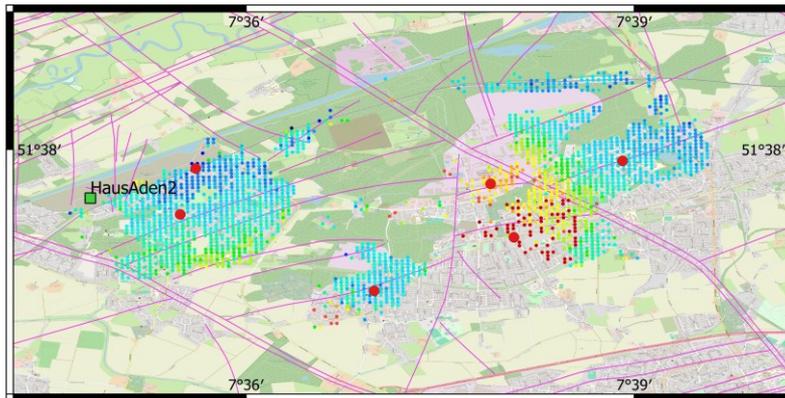


Die mittleren Bruchzeiten liegen beim 06.09.2019 und beim 15.07.2020.

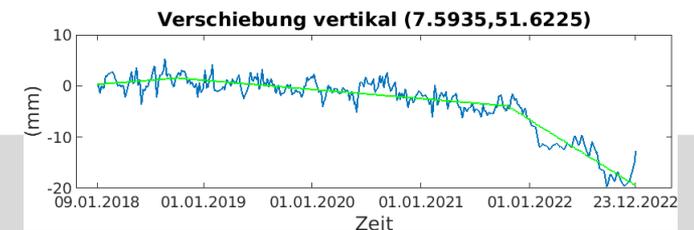
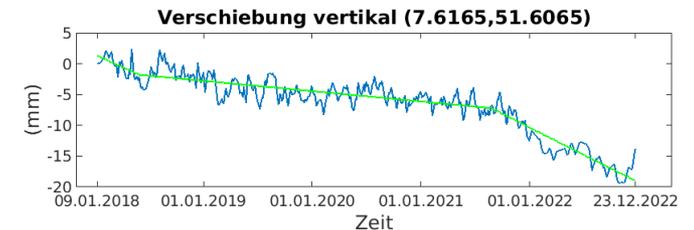
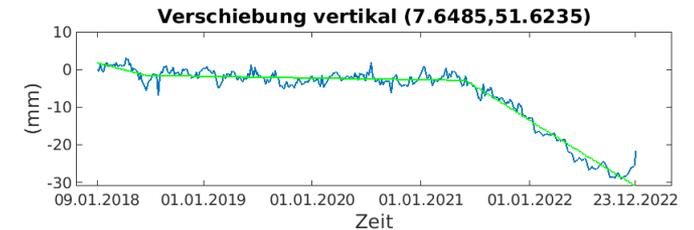
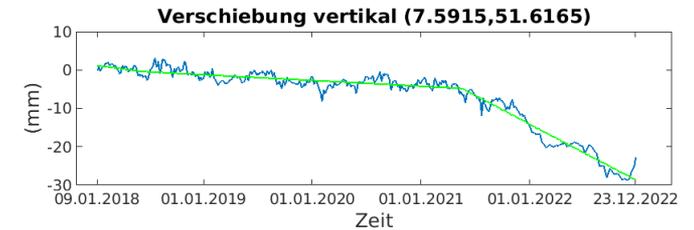
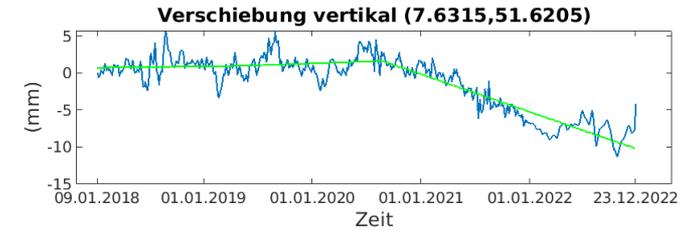
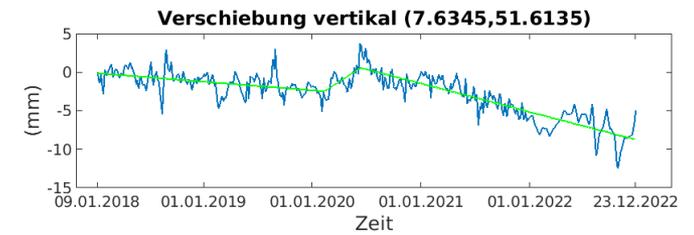
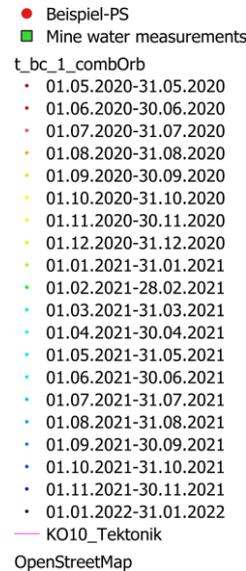
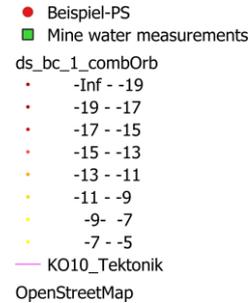
Cluster Haus Aden



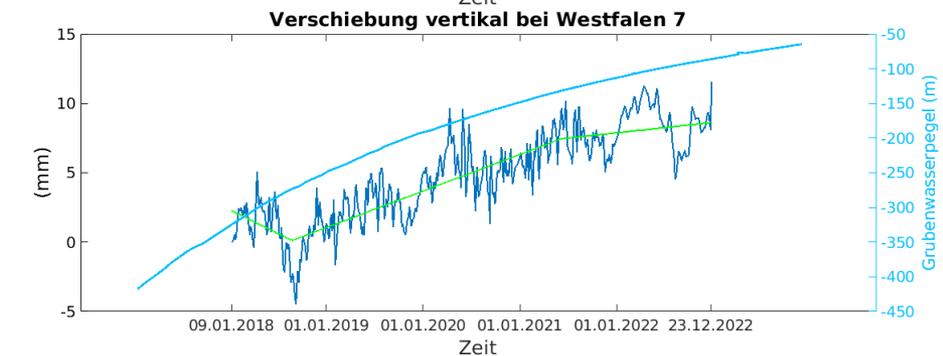
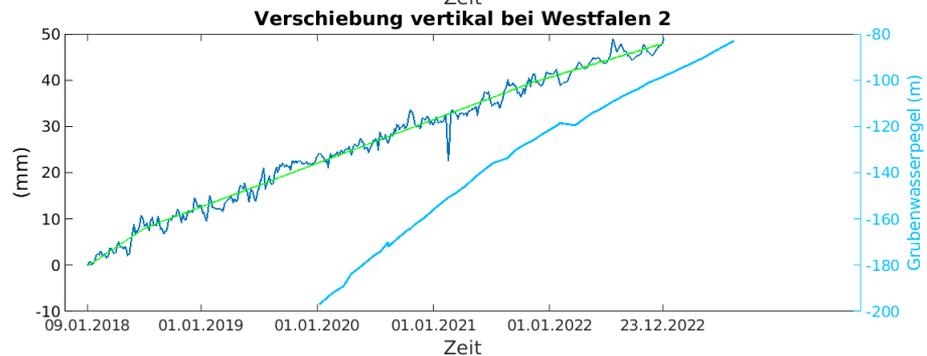
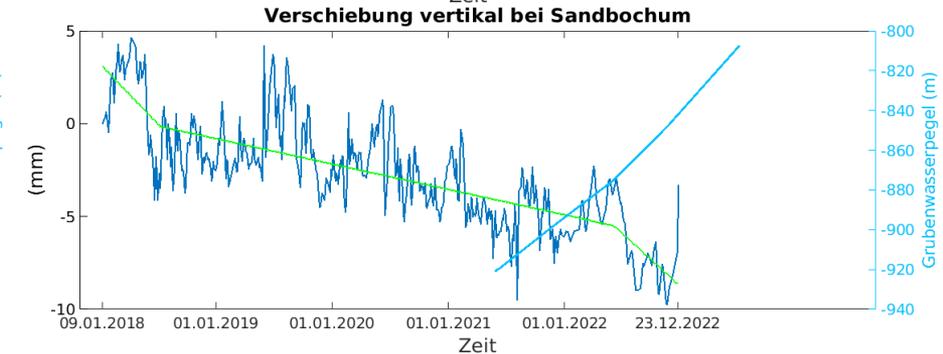
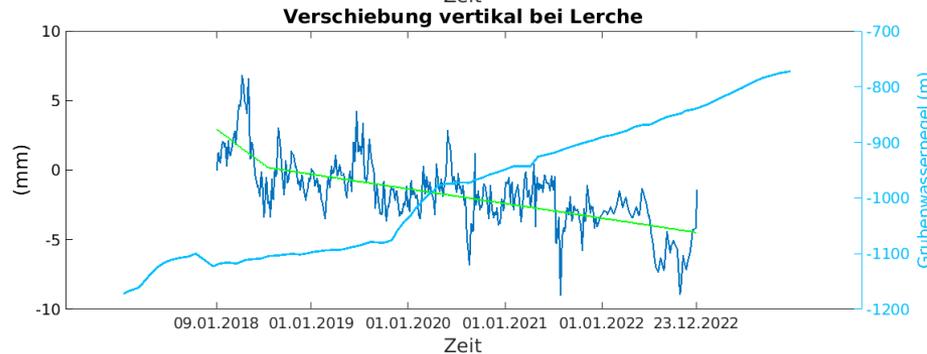
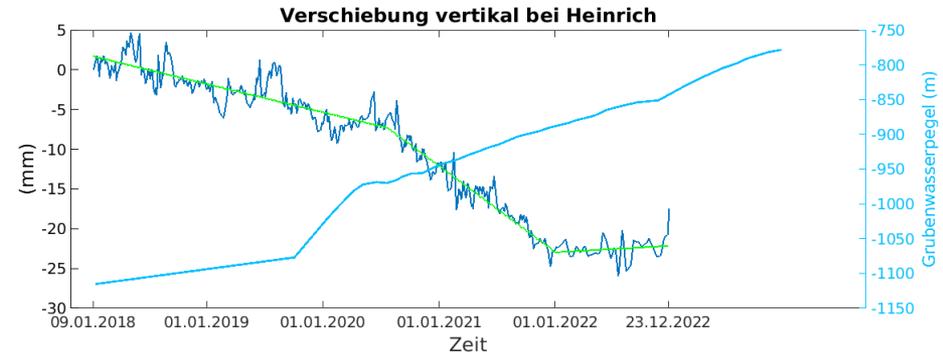
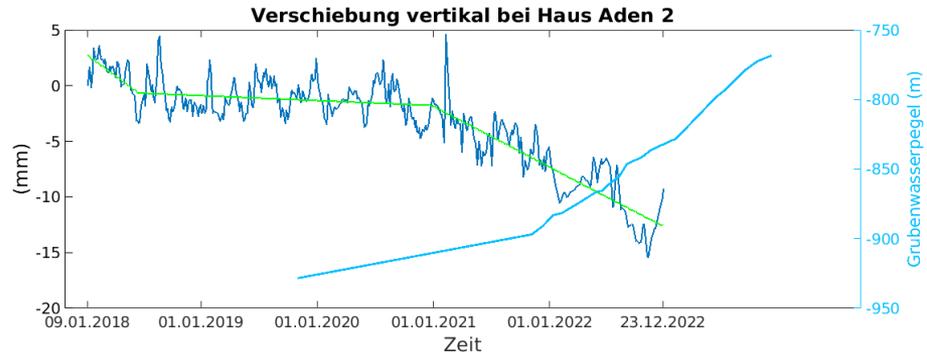
Änderungen der Rate



Bruchzeiten



PS bei Grubenwasserpegelmessstellen





Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Diese Arbeit wurde von von verschiedenen Personen und Organisationen unterstützt, für deren Hilfe wir dankbar sind:

DMT (Daniel Schröder, Uwe Kalz)

RAG

RUB (Martina Rische)

Wir danken dem BMBF für die Förderung des Projektes FloodRisk im Rahmen des Programms GEO:N.

