

Jetzt mit vielen neuen Links

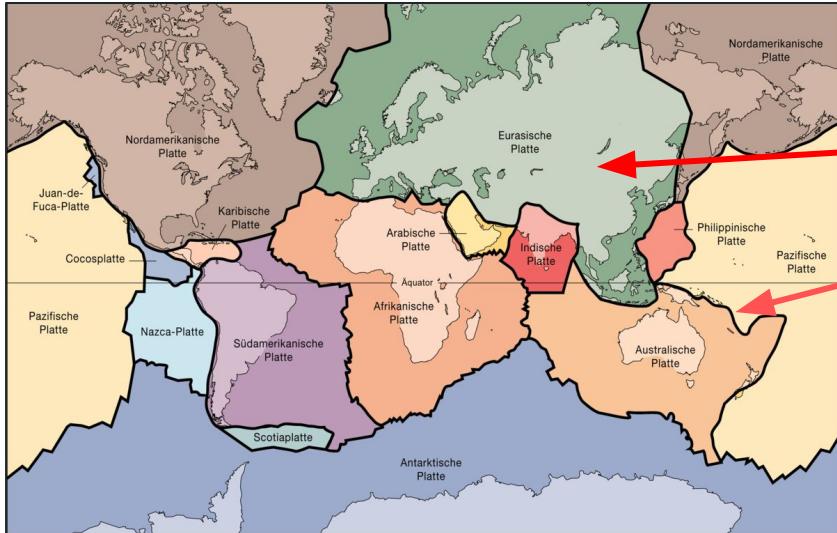
Floating grounds

Satelliten-Radarfernerkundung über SH + HH

Dieter Hoogestraat
Cand. M.Sc. Geophysik, Uni Kiel

toppoint - Hackerspace, Innovation Lab

Bodenwegungen



Die Erde, auf der wir stehen ist nicht unveränderlich fest.

GIA

Tektonik (Platten)

Erdbeben

Salztektonik

Kompaktierung

Grundwasserhaushalt

Nutzung

Abb. 1: Lithosphärenplatten, a.k.a. "tektonische Platten", auf der Erdoberfläche <https://de.wikipedia.org/wiki/Plattentektonik>

Kompaktierung Nutzung (Grund-)Wasserhaushalt Salztektonik

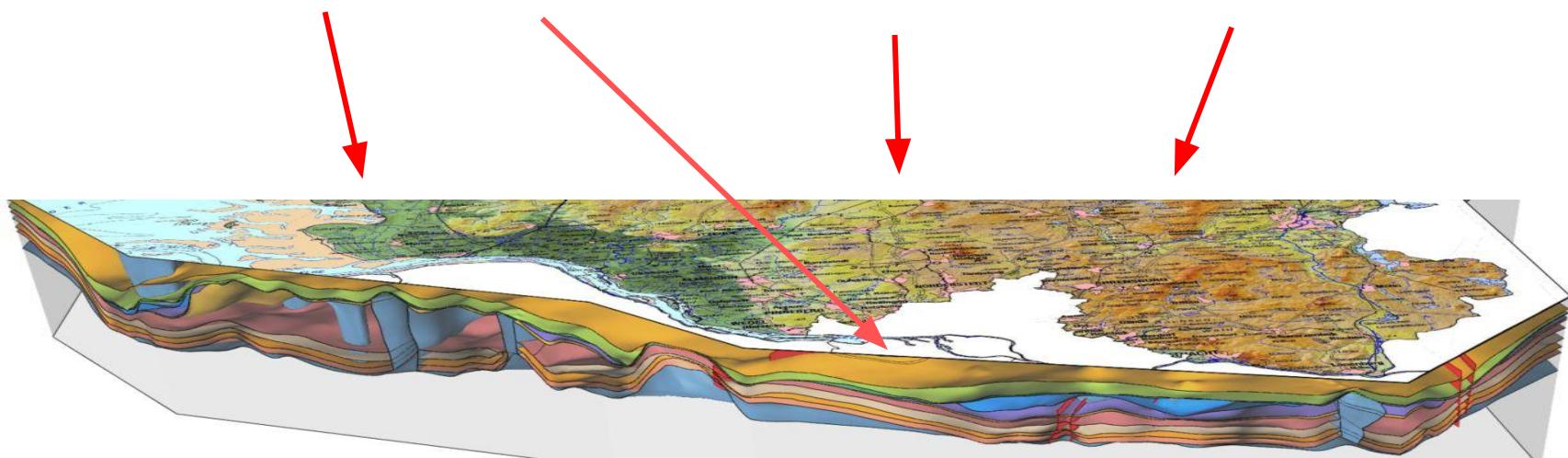


Abb. 2: Der Untergrund von Schleswig-Holstein in 3D-Darstellung

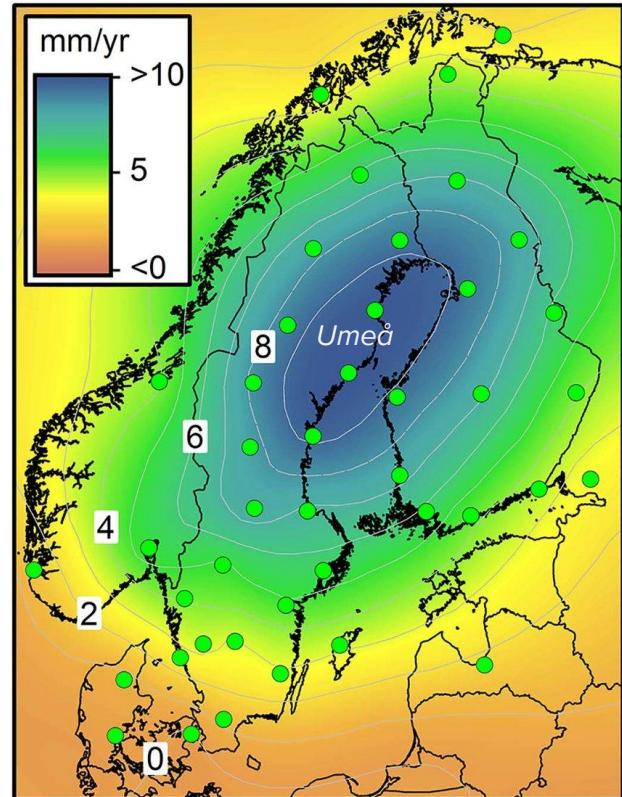
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/G/geologie/Downloads/Anlage_Datenkategorisierung_Az5401_003.html?nn=1ef6a8fc-b16e-4572-983f-9cc180ab7c48

Bodenwegungen

GIA (Glacial Isostatic Adjustment)

Wo während der Eiszeit vor rund 12.000 Jahren Eispanzer lagen, hebt sich die Erde unter dem Eindruck des fehlenden Drucks seit dem Abschmelzen immer noch.

Abb. 3: Andauernde Hebungsbewegung nach Schmelzen des letzten eiszeitlichen Eispanzers
https://www.researchgate.net/publication/317191770_Late_Cenozoic_environmental_changes_along_the_Norwegian_margin



Bodenbewegungen

Es gibt eine zahlreiche groß- und kleinräumige Bodenbewegungen in der Horizontalen wie der Vertikalen, die durch natürliche Prozesse oder menschliches Tun angetrieben werden und die Erdoberfläche sowie die darauf befindlichen Installationen beeinflussen.

GIA

Tektonik

Erdbeben

Salztektonik

Kompaktierung

Grundwasserhaushalt

Nutzung

anthropogene Überbauung

Warum Bodenbewegungen auch dann interessieren, wenn sie nicht durch Erdbeben angetrieben werden.

Bedeutung

Der Klimawandel verändert
das Verhältnis von See zu
Land.

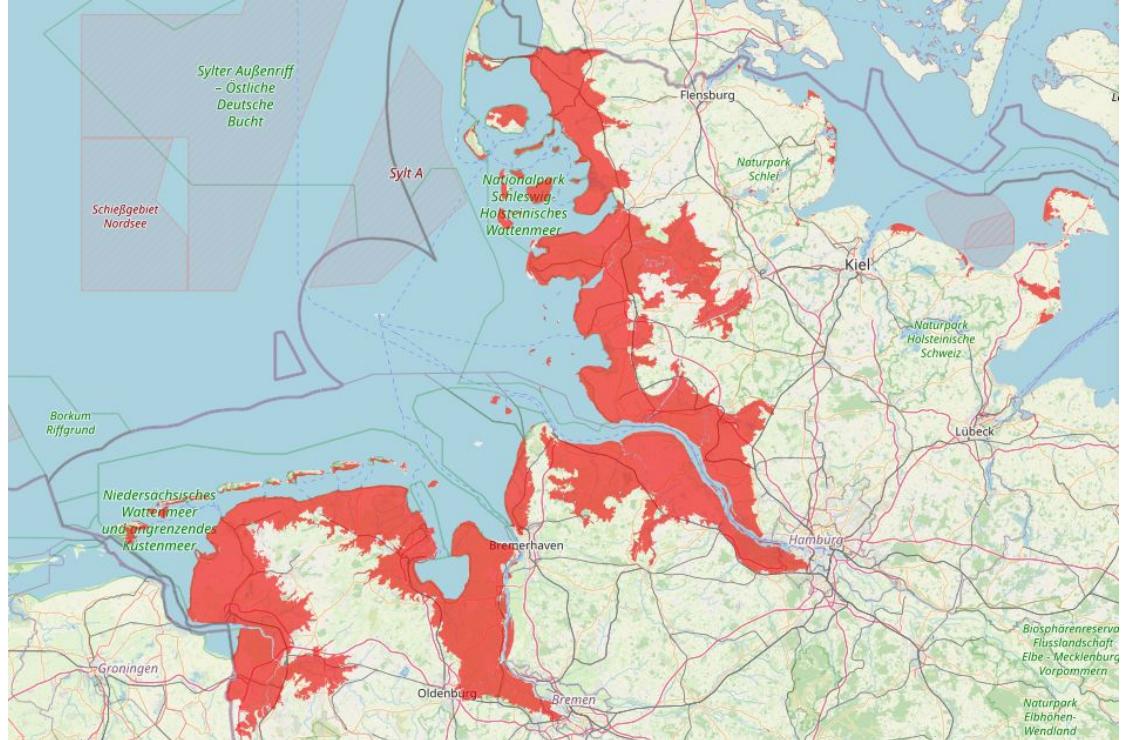


Abb. 4: Worst Case-Szenario für eine ungeschützte Küstenlinie unter dem Eindruck des Klimawandels
<https://sealevelrise.hcu-hamburg.de/>

Bedeutung

CO₂ einsparen
wird nicht
reichen. Aktiv
entferntes CO₂
muss im
Untergrund
gespeichert
werden **CCS**->
Bodenbewegun
gen

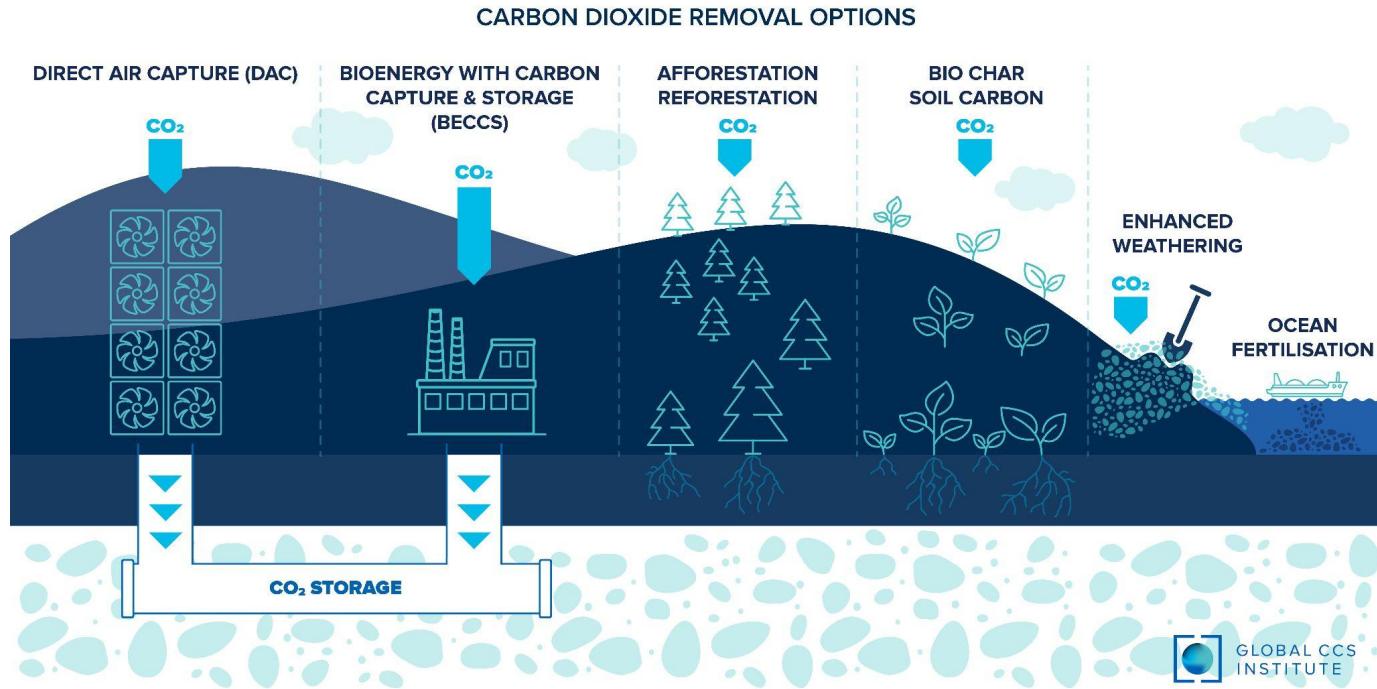


Abb. 5: Möglichkeiten, CO₂ dauerhaft zu binden <https://www.globalccsinstitute.com/>

[IPCC on CCS] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_wholereport.pdf

Bedeutung

Bergbau verursacht seit Jahrhunerten Schäden an der Oberfläche. Die Aufnahme stammt aus Gladbeck.



Abb. 6: Bergschaden an einem Haus in Gladbeck
<https://de.wikipedia.org/wiki/Bergschaden>

Bedeutung

Staufen im Breisgau: Fast eine ganze Stadt drohte zu zerbrechen, weil eine **Geothermie**-Bohrung eine Anhydrit-Schicht aktivierte, was Hebungen und Verschiebungen auslöste.



Abb. 7: Schaden durch Hebungen in Staufen:
https://de.wikipedia.org/wiki/Hebungsrisse_in_Staufen_im_Breisgau

Motivation

- Klimawandel -> Nutzungsänderungen -> Monitoring
- Großflächiges Monitoring -> Satelliten
- ESA-Daten und daraus abgeleitete Produkte:
OpenAccess



Abb. 8: Klassisches Nivellement]
<https://de.wikipedia.org/wiki/Nivellement>

Die Agenda für heute

Bodenbewegungen und warum sie beobachtet werden
#Klimawandel #CCS #Bergschäden #Geothermie

Höhen- und Bodenbewegungsmessungen
#Nivellement #GNSS #InSAR

Das (D)InSAR-Prinzip + die PS #persistent_scatterer
#Radar

Pause

Radarsatelliten und der Stand der Dinge #Seasat
#Sentinel #NISAR #HRWS

Welche Produkte sind verfügbar? #Scihub #BBD
#EGMS

Wie sieht die Situation in SH + HH aus #Segeberg
#Lübeck #Elbmarschen

Aktuelle Themen #Zeitreihen #KI

Dieter Hoogestraat 



toppoint e.V. - Hackerspace and Innovation Lab (hog)

Cand. M.Sc. Geophysik, CAU Kiel

Radarfernerkungung, KI, Hydroakustik

hog@toppoint.de

dieter@hoogestraat.dk

Die meisten der hier gezeigten Inhalte
sind das Ergebnis einer Kooperation
von



Höhenmessung erdgebunden

Klassisches Nivellement ist
zeit-, personal- und letzt-
endlich kostenaufwändig

Befliegungen sind zwar
günstiger, aber immer noch
teuer genug, um nur im
Abstand weniger Jahre
durchgeführt zu werden (SH: 3)

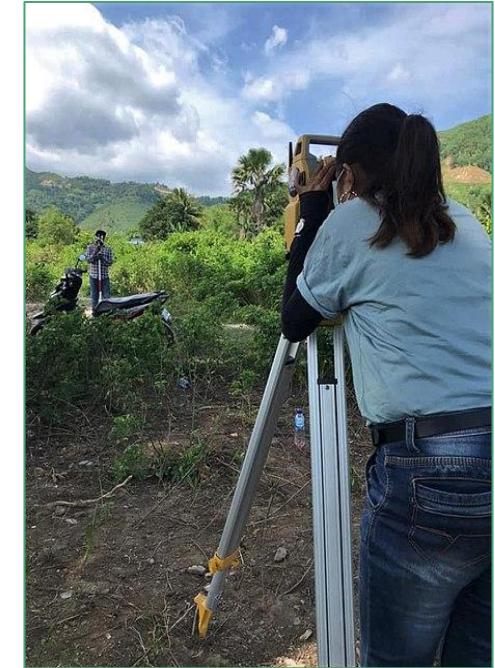
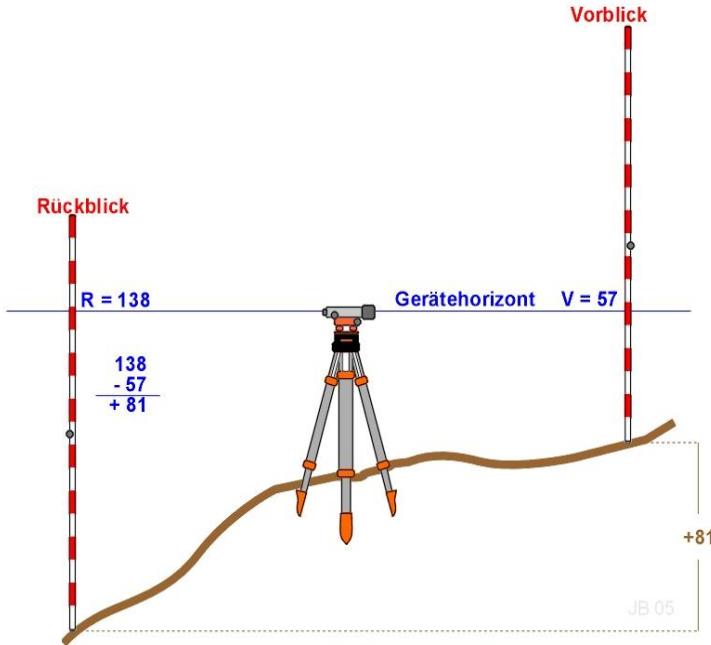


Abb. 9: Klassisches Nivellement im Feld
(oben), im Prinzip (links)
<https://de.wikipedia.org/wiki/Nivellement>

Höhenmessungen

GNSS (Global Navigation Satellite System)

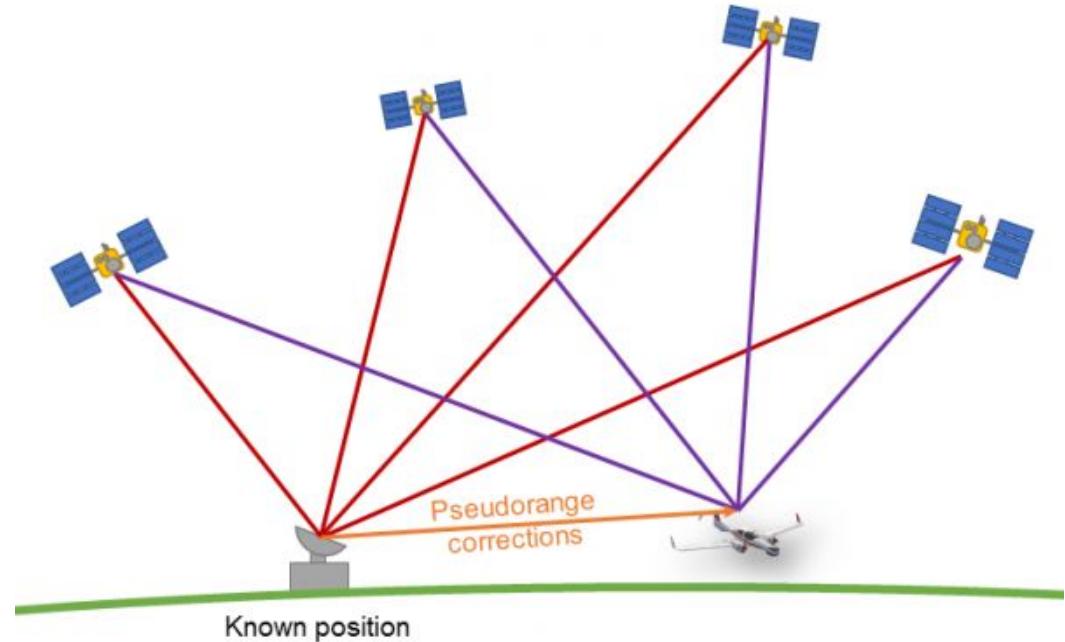
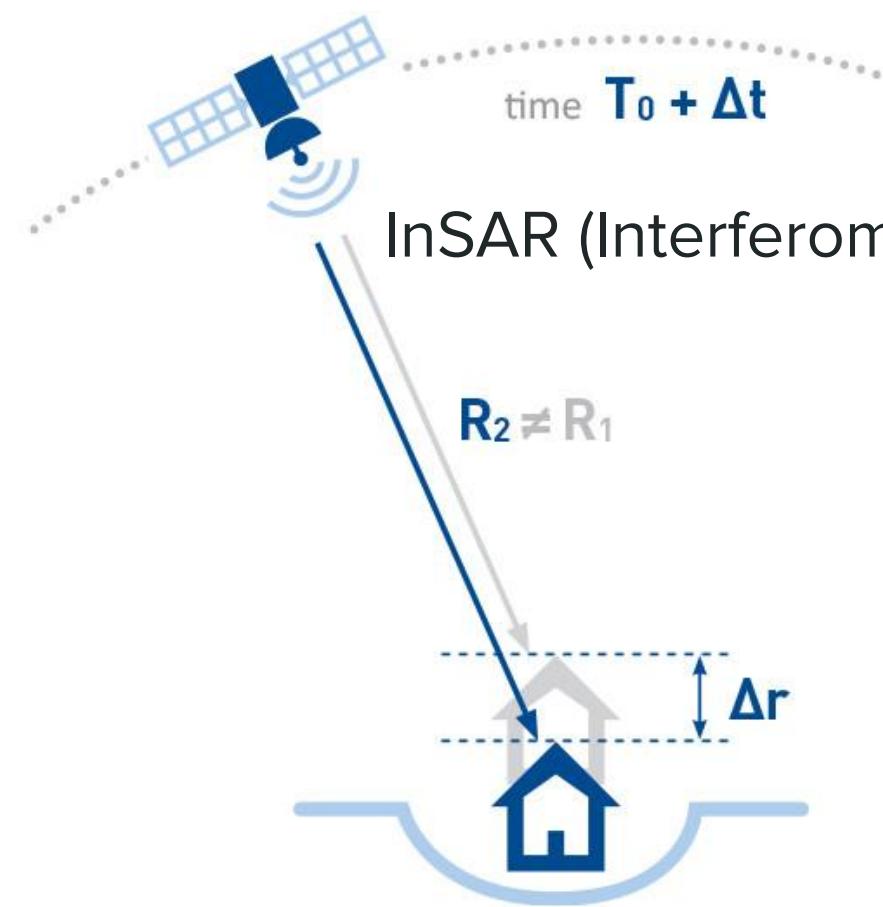


Abb. 10: GNSS Satellitenkonstellation und Signalwege für Positionierung (blau) und Korrektur (rot/orange)

<https://www.fsd.ed.tum.de/research/sensors-data-fusion-and-navigation/research-and-competence-areas/satellite-navigation/>



InSAR (Interferometric Synthetic Apperture Radar)

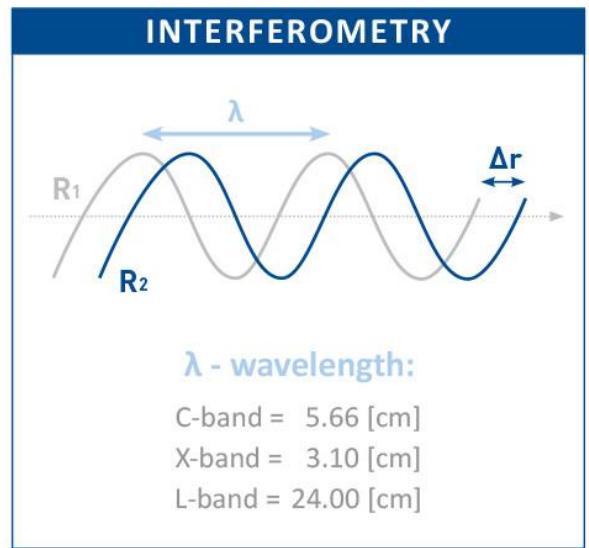


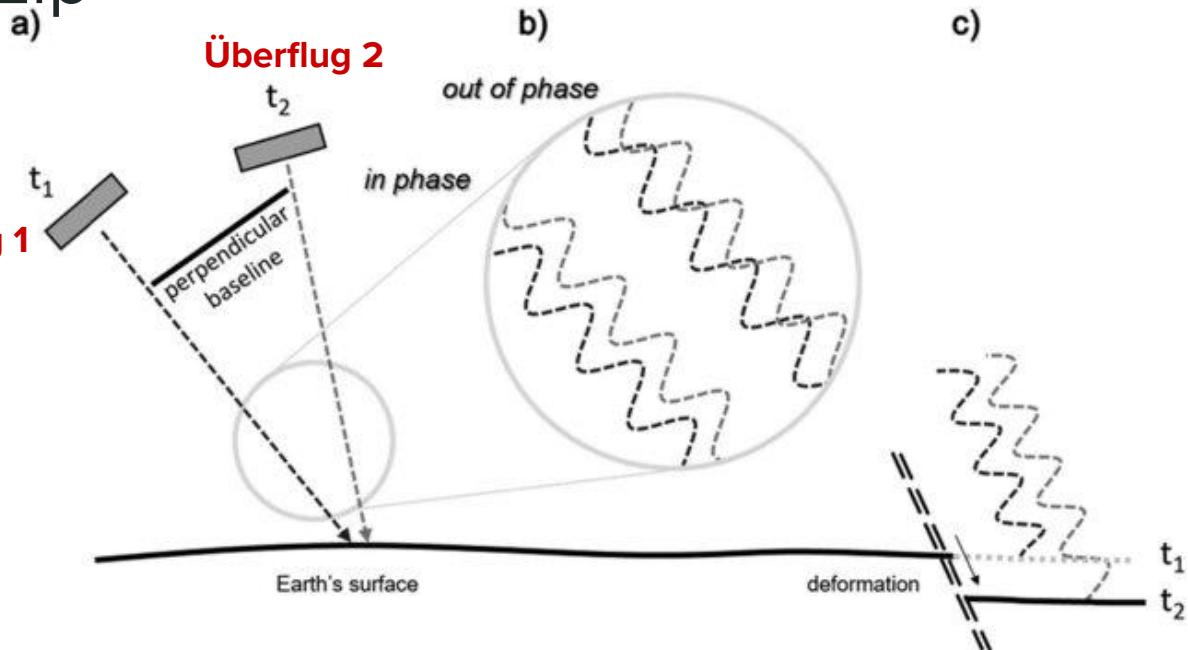
Abb. 11: InSAR-Prinzip <https://site.tre-altamira.com/insar/>

Das (D)InSAR-Prinzip

Pro Überflug werden Amplitude und Phasenwinkel registriert.

Überflug 1

Aus der Differenz der Phasenwinkel ergibt sich die Veränderung.



[InSAR en Detail, ESA]

https://www.esa.int/About_Us/ESA_Publications/InSAR_Principles_Guidelines_for_SAR_Interferometry_Processing_and_Interpretation_br_ESA_TM-19

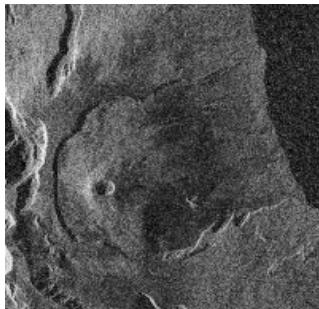
Abb. 12: Perpendicular Baseline

https://www.researchgate.net/publication/351713323_Retrieval_of_digital_elevation_models_from_Sentinel-1_radar_data_-_Open_applications_techniques_and_limitations/figures?lo=1

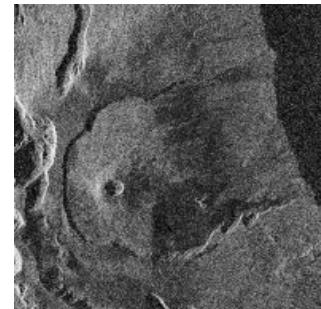
Das (D)InSAR-Prinzip

Überflug 1

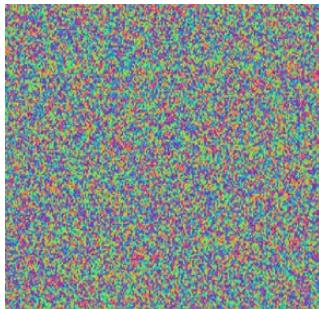
01.05.23
Amplitude



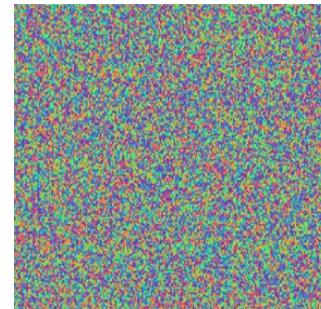
Überflug 2



13.05.23
Phase



-



=

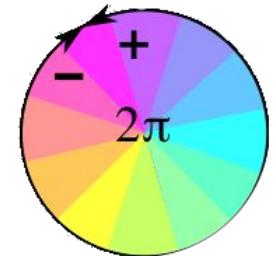
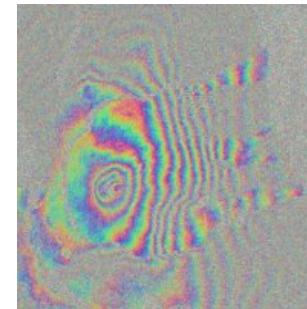
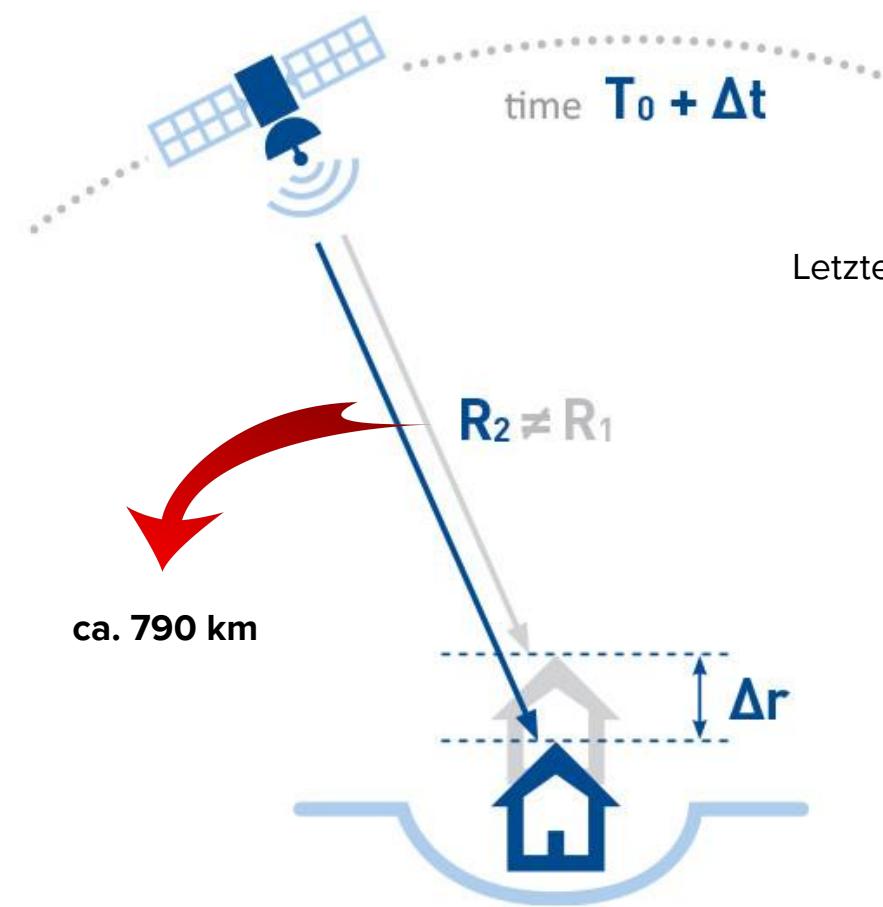


Abb. 13: Blick auf den Piton de la Fournaise im französischen Überseedepartement La Reunion

[eigene Untersuchungen im Rahmen semi-automatischen Monitorings unbebauter Gebiete anhand der Analyse von Kohärenzunterschieden (cohdet); perhaps some kind of ongoing work <https://github.com/vanhog/cohdet>]



Das (D)InSAR-Prinzip

Letzter Schritt: Auflösen der Phasenmehrdeutigkeit = Unwrapping

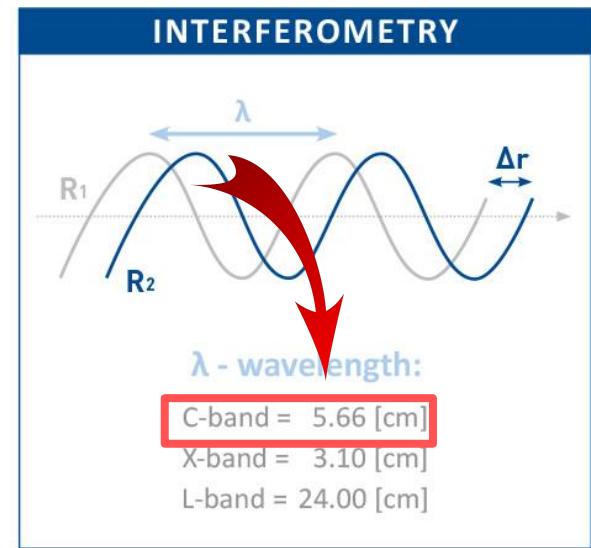


Abb. 14: InSAR-Prinzip <https://site.tre-altamira.com/inSAR/>

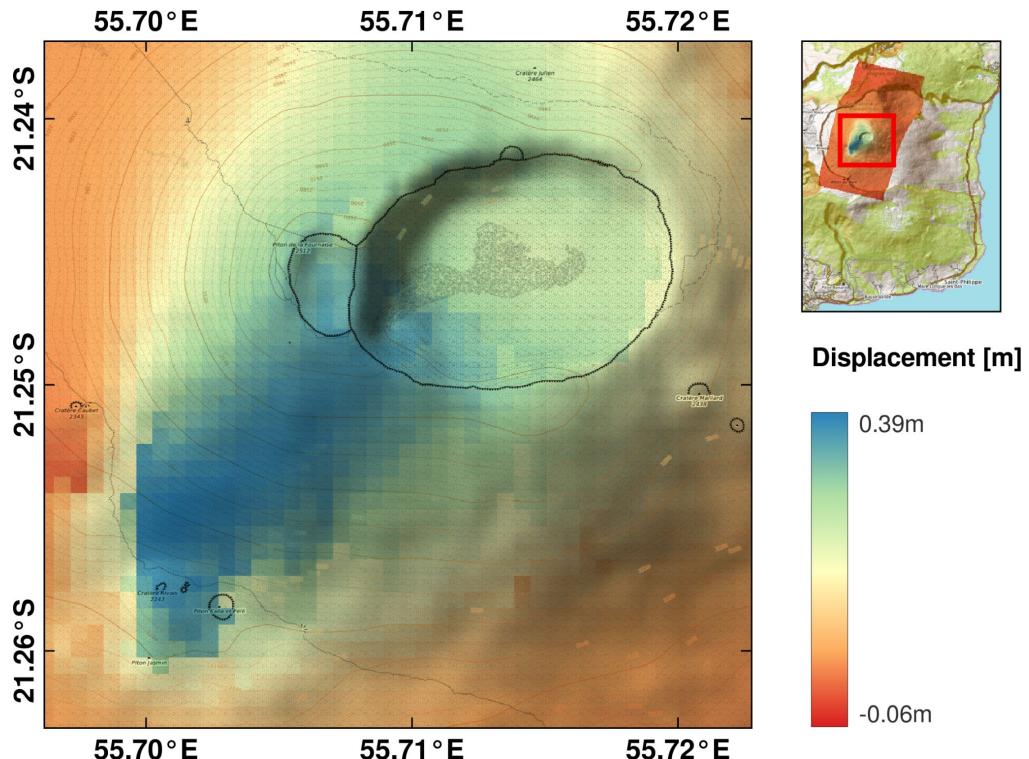
Das (D)InSAR-Prinzip

Nach dem Unwrapping steht eine **relative** Messung in **LOS** zur Verfügung.

LOS: Line-of-Sight: direkte Linie zum Satelliten

relativ: Veränderung ohne Bezugshöhe

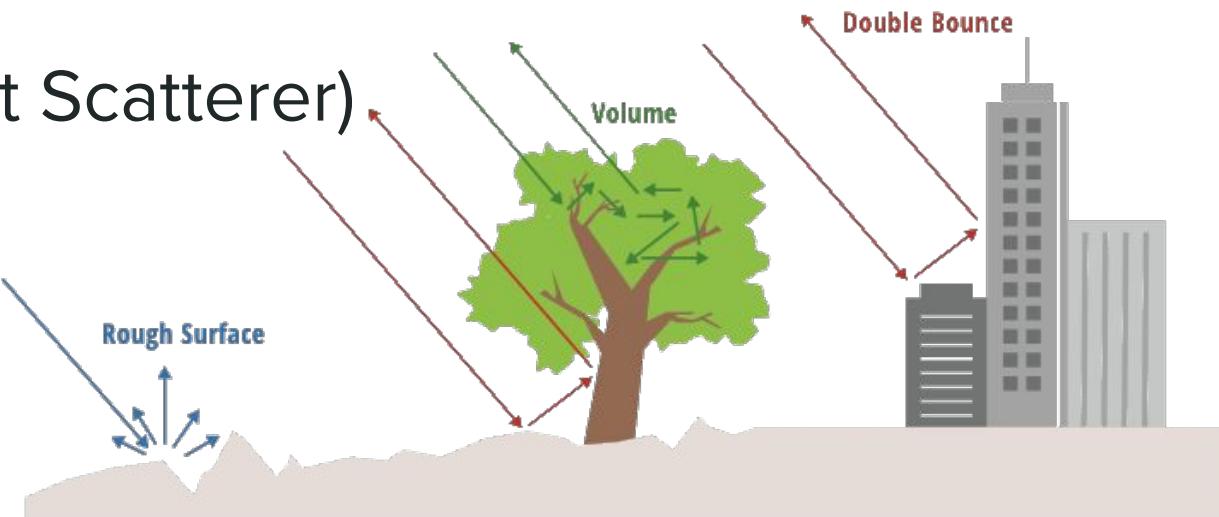
Abb. 15: Höhenveränderungen am Piton de la Fournaise nach dem Ausbruch vom 6. auf den 7. Dezember 2020 [eigene Untersuchung]



[Unwrapping] <https://ASF.alaska.edu/how-to/data-recipes/insar-and-unwrapping-with-qmt5sar-script/>

Die PS (Persistent Scatterer)

Die Idee: Manche Dinge finden sich mit einem guten Signal in (fast) allen Aufnahmen.



Von denen lässt sich die Bewegungsgeschichte aufzeichnen.

Überflug 1
Überflug 2
Überflug 3
Überflug ...
Überflug x

Überflug 1
Überflug 2
Überflug 3
Überflug ...
Überflug x

Überflug 1
Überflug 2
Überflug 3
Überflug ...
Überflug x

Abb. 16: Streumechanismen
https://qis1.servirglobal.net/TrainingMaterials/SA_R/SARHB_FullRes.pdf

[PS Persistent Scatterer] Persistent Scatterer Interferometry: A review: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271615002415>

Die PS-Zeitreihen

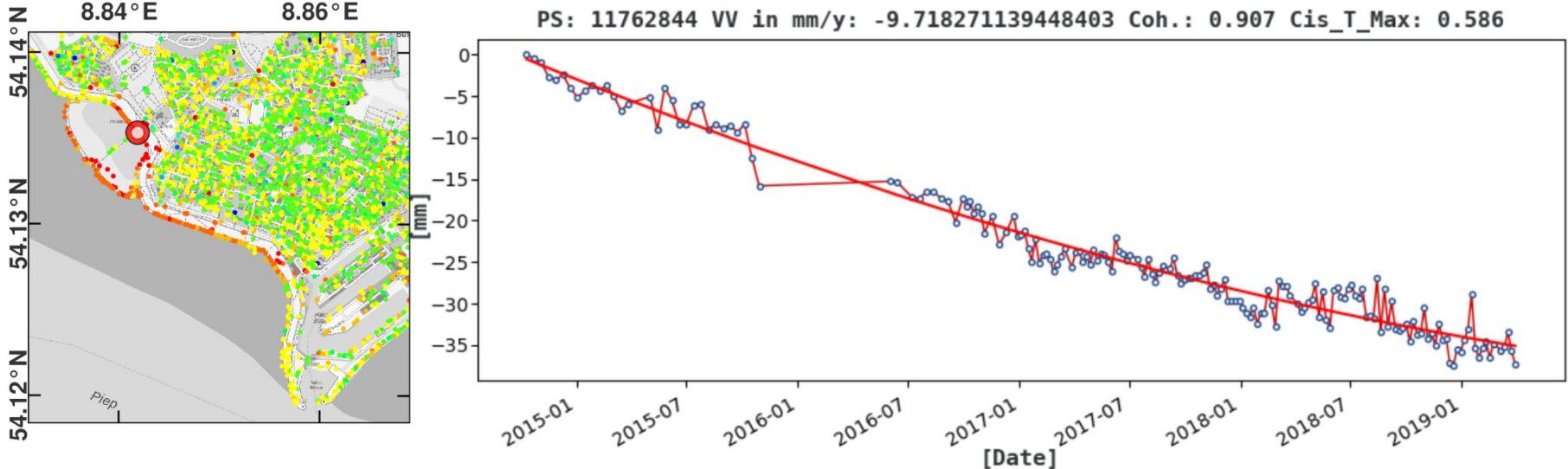


Abb. 17: Zeitreihe eines Streupunktes auf dem ertüchtigten Deich an der Büsumer Perlebucht

[Hoogestraat, D.; Sudhaus, H.; Omlin, A., 2022: Using InSAR Velocity Measurements at Transmission Towers to Calibrate Ground Motion Data. DOI: <https://doi.org/doi:10.23689/fidgeo-5333>

Zwischenstand

Es gibt zahlreiche Prozesse, die für groß- oder kleinräumige Bodenbewegungen sorgen.

Die Nutzung des Untergrundes erhöht mit einiger Sicherheit das Potenzial für Bodenbewegungen.

Klassische Messverfahren sind teuer und aufwändig.

InSAR und PS-InSAR sind ein effizientes, spaceborn Verfahren, dass relative Bewegungsdaten liefert.

Das Verfahren liefert relative Daten in LOS.

Werden besonders gute Streupunkte am Boden dauerhaft beobachtet, lassen sich daraus auf einfache Art Bewegungszeitreihen ableiten.

PAUSE

SAR-Explosion



SeaSat 1978, NASA:
Nur 105 Tage mit
insgesamt 42h Daten,
aber ...

ESA rocks!

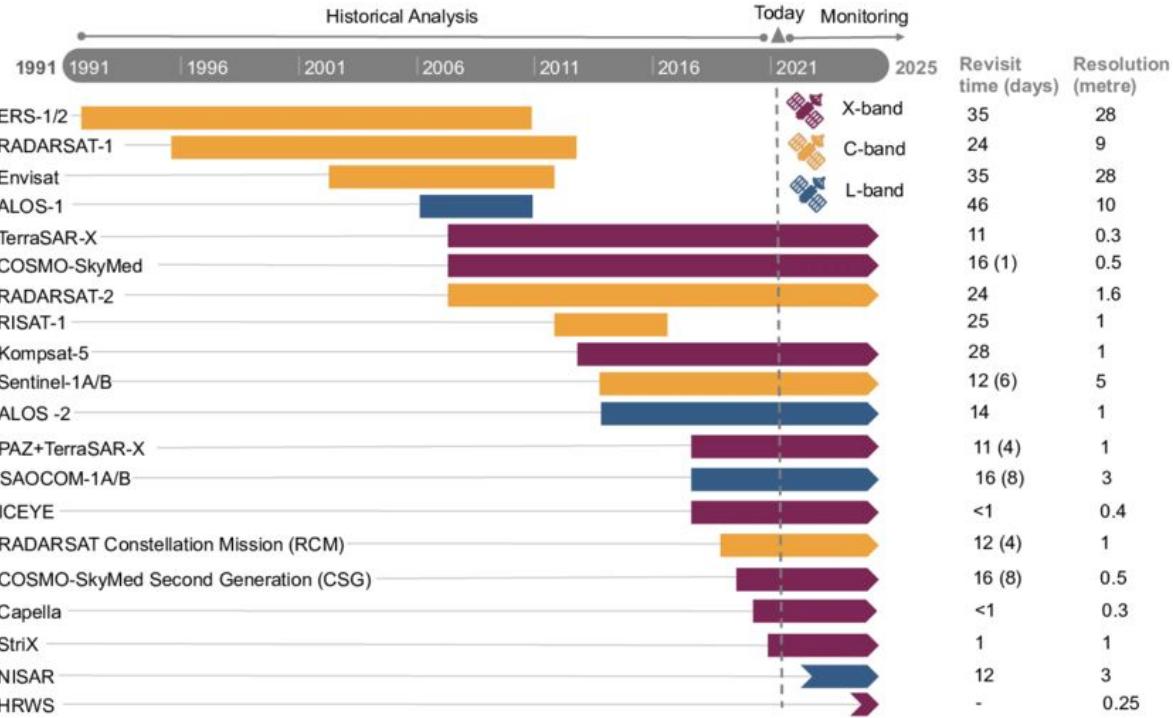


Abb. 19: SAR Satellites History Timeline

https://www.researchgate.net/publication/356791826_Multi-Temporal_InSAR_for_transport_infrastructure_monitoring_Recent_trends_and_challenges

SAR-Explosion

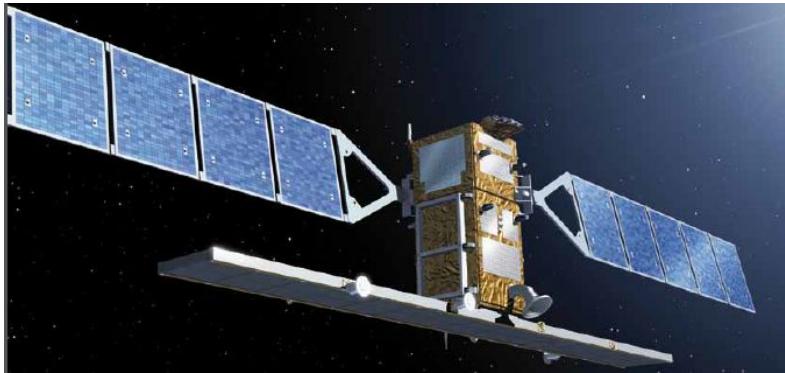


Abb. 20: Sentinel 1 A/B

Repeating cycle: 6/12d
Sentinel 1B seit 21.12.22 inaktiv
C-Band SAR
[\[https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1\]](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1)

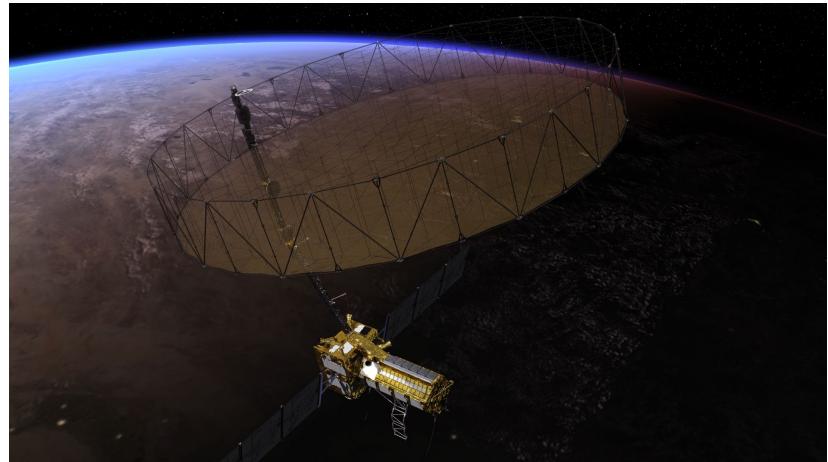


Abb. 21: NISAR

Coop: Indien + USA
Start: 12/2023 (Fringe2023) or Q1/24
L- + S-Band SAR
[\[https://www.isro.gov.in/NISARSatellite.html\]](https://www.isro.gov.in/NISARSatellite.html) and [\[https://nisar.jpl.nasa.gov/\]](https://nisar.jpl.nasa.gov/)

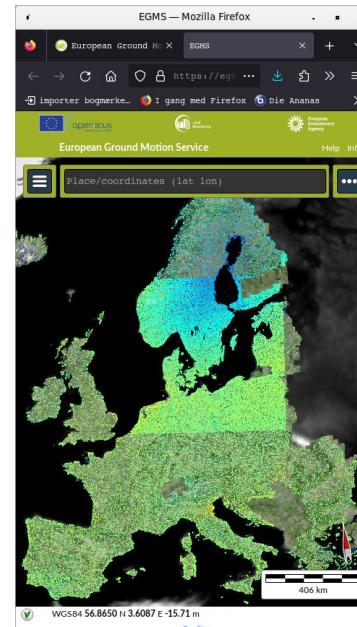
SAR-Produkte

[<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>]



Abb. 22 Scihub: Rohdaten

[<https://egms.land.copernicus.eu/>]



EGMS ≠ BBD

Abb. 24: Bodenbewegungsdienst (BBD): Bodenbewegungen D-weit

[<https://bodenbewegungsdienst.bgr.de/>]



Abb. 23: European Ground Motion Service (EGMS): Bodenbewegungen EU–weit

SAR-Produkte



Abb. 25: Bodenbewegungsdienst (BBD):
Bodenbewegungen D-weit (links)

Live

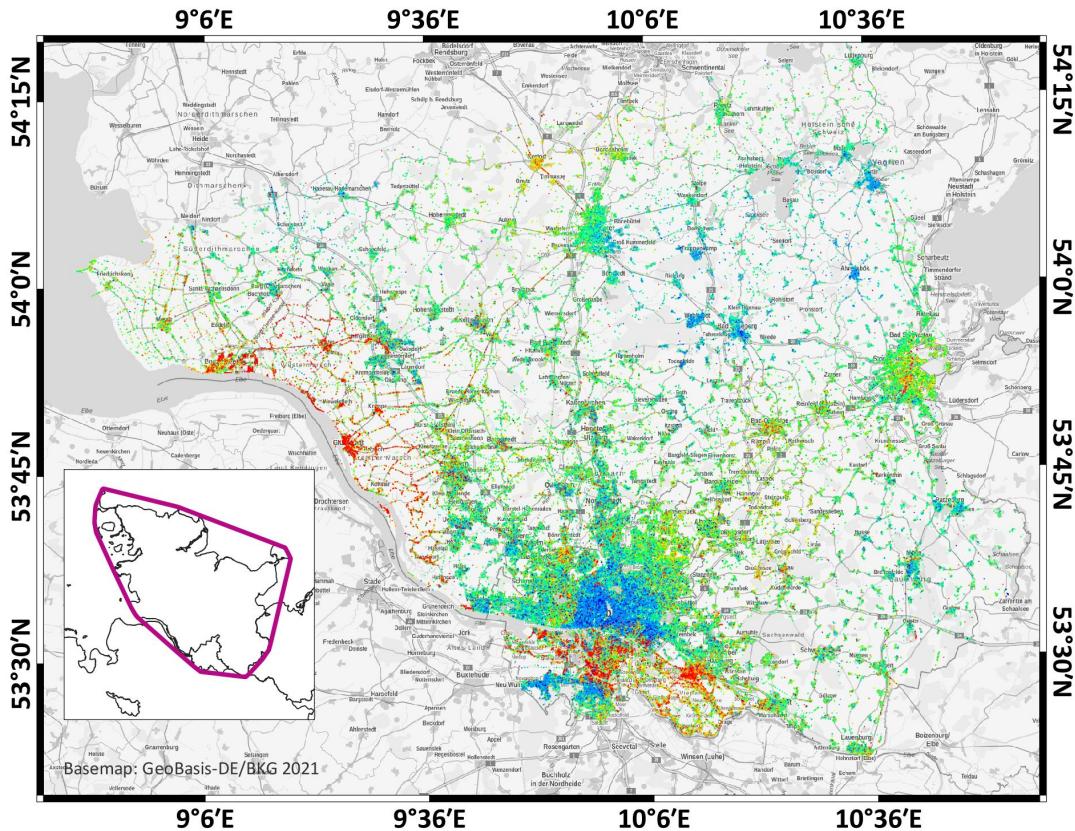


<https://bodenbewegungsdienst.bgr.de/>

Beispiele

Für die Marschen entlang der Elbe ist schon in den ERS-Daten (1991-2011) eine Absenkung von relativ bis zu 10 mm/y und mehr zu beobachten.

Abb. 26: Subsidenz entlang der Elbmarschen [Hoogestraat, Dieter; Sudhaus, Henriette; Omlin, Andreas, 2021: Detecting very slow natural ground motion in Schleswig-Holstein from radar satellite data. DOI: <https://doi.org/10.23689/fidgeo-3949>



Beispiele

Die relative Absenkung entlang der Elbmarschen betrifft auch die Bereiche der beiden dort gelegenen Atomkraftwerke.

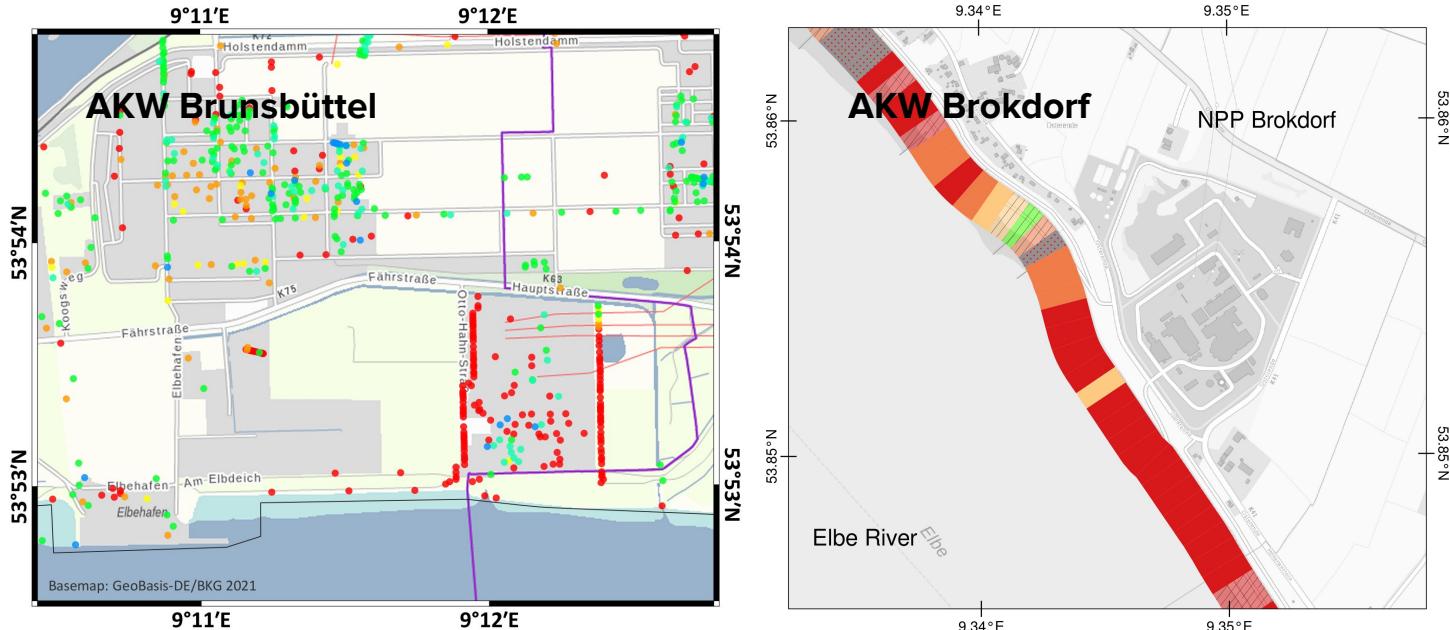


Abb. 27: Setzungsbewegungen im Umfeld der AKWs Brunsbüttel und Brokdorf. Nicht-einheitlicher Maßstab; weder für Größenverhältnisse noch für Bewegungsraten. [<https://doi.org/10.23689/fidgeo-3949>]

Beispiele

Entlang der Trave sind im Westen von Lübecks historischer Innenstadt sowohl in den ERS-Daten (links) wie in den Sentinel-1-Daten (rechts) Senkungsprozesse zu erkennen.

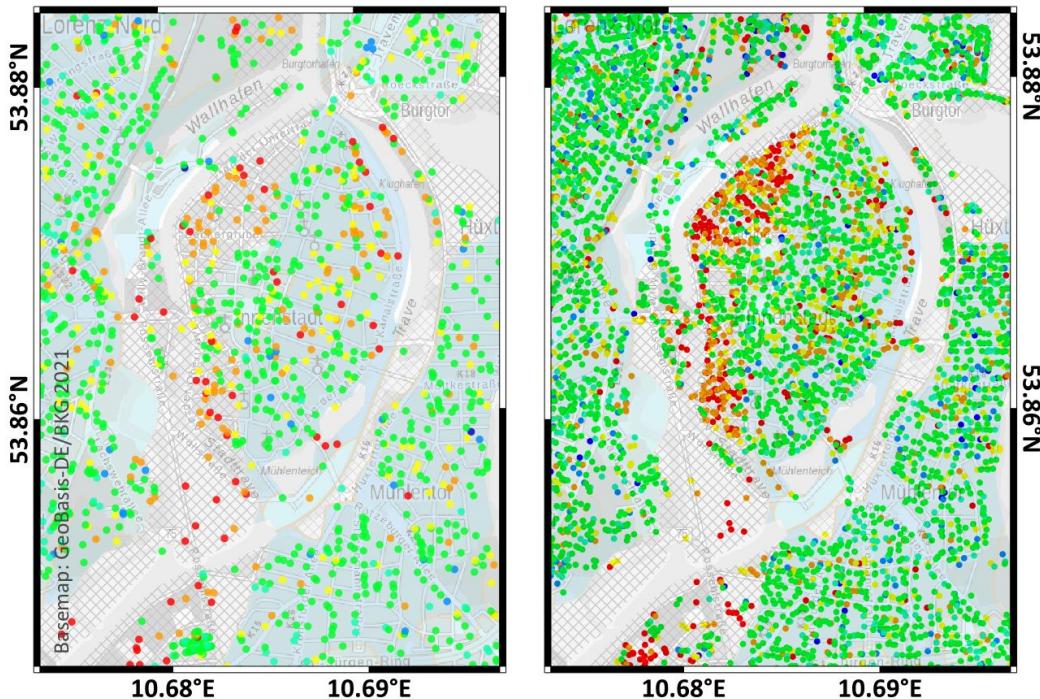
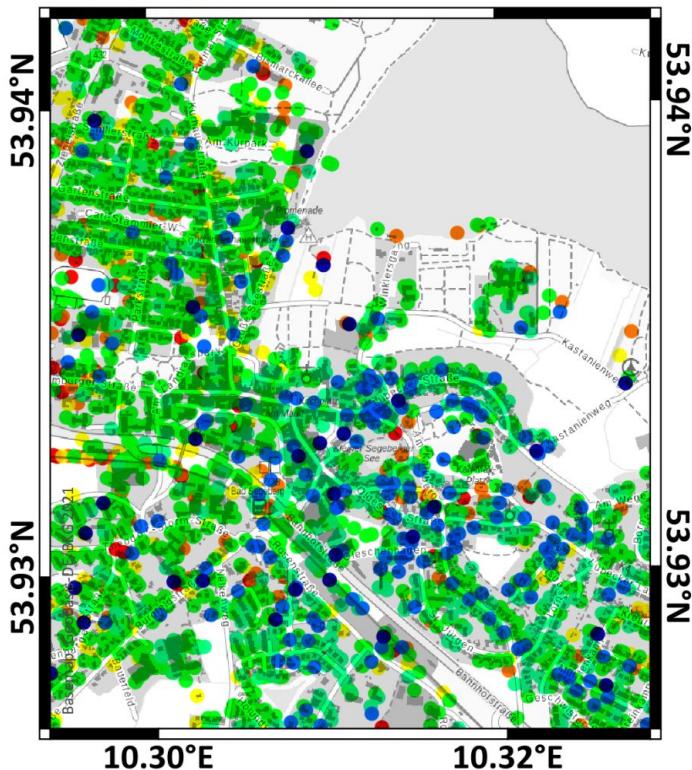


Abb. 28: Subsidenz entlang der Trave [Hoogestraat, Dieter; Sudhaus, Henriette; Omlin, Andreas, 2021: Detecting very slow natural ground motion in Schleswig-Holstein from radar satellite data. DOI: <https://doi.org/10.23689/fidgeo-3949>]

Beispiele

Und er hebt sich doch: Der “Kalkberg” in Bad Segeberg hebt sich konsequent 1,5 mm/a schneller als die umliegenden, unbewegten Bereiche.

Abb. 29: Hebung am Segeberger “Kalkberg”
[Hoogestraat, Dieter; Sudhaus, Henriette; Omlin, Andreas,
2021: Detecting very slow natural ground motion in
Schleswig-Holstein from radar satellite data. DOI:
<https://doi.org/10.23689/fidgeo-3949>]



Anmerkung zur Skala

Relative Bewegungen ->
relativen Darstellungen

Die Frage nach der Übersetzung
von relativen zu absoluten
Bewegungsraten wird nach wie vor
diskutiert und ist für den
Bodenbewegungsdienst
Deutschland (BBD) durch
Anbindung an GNSS-Daten
beschieden.

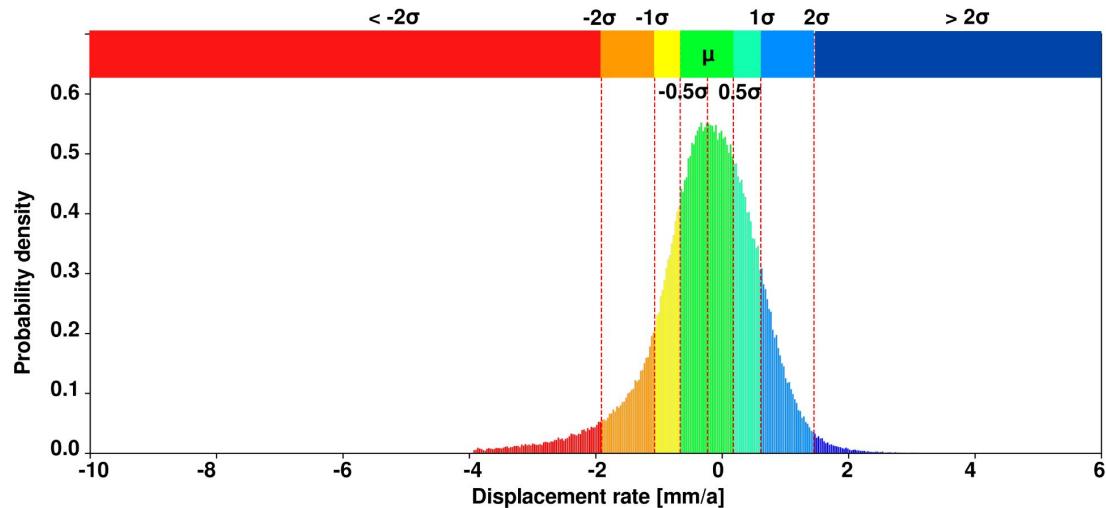


Abb. 30: Sigma-Colouring: Relative Farbskala zur Darstellung relativer Bewegungsangaben [<https://doi.org/10.23689/fidgeo-3949>]

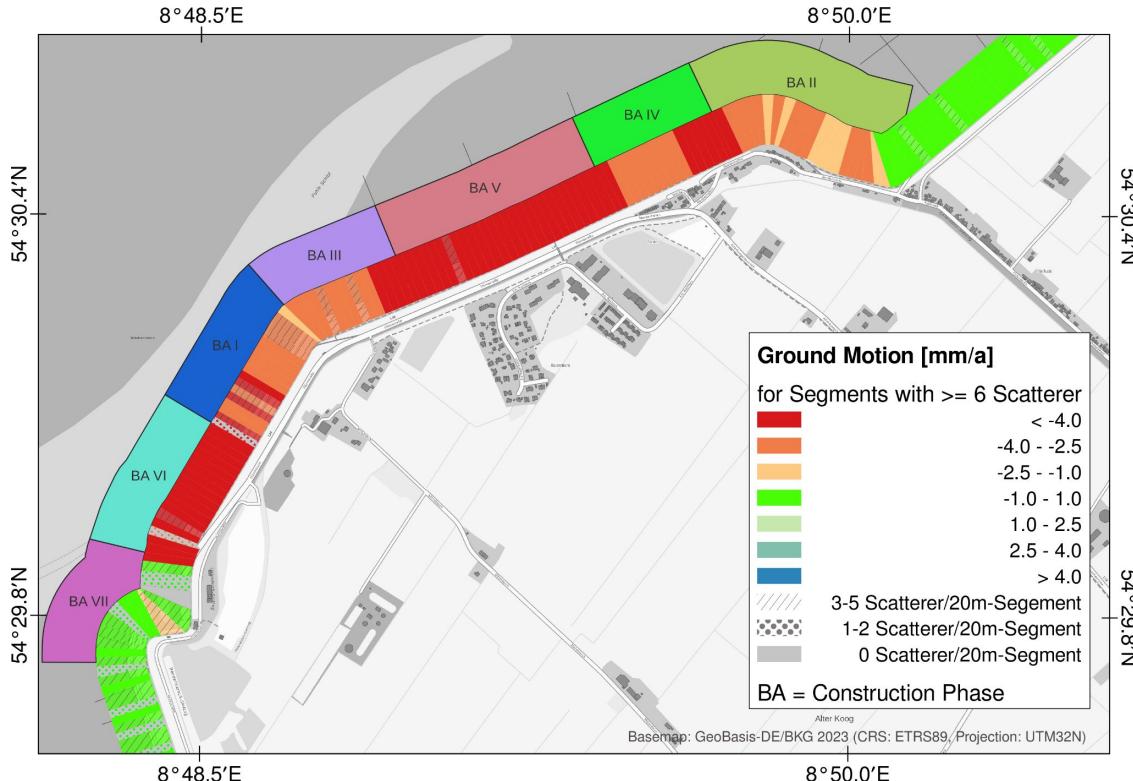
Aktuelle Themen

50m-Abschnitte

Deichmonitoring scheint möglich

Abb. 31: Analyse von Senkungsprozessen am Klimaschutzdeich auf Nordstrand

[Hoogestraat, Dieter; Sudhaus, Henriette; Omlin, Andreas, 2023: Assessing PS-InSAR ground motion data toward stability monitoring of coastal flood protection dikes DOI: <https://doi.org/10.23689/fidgeo-5734>]

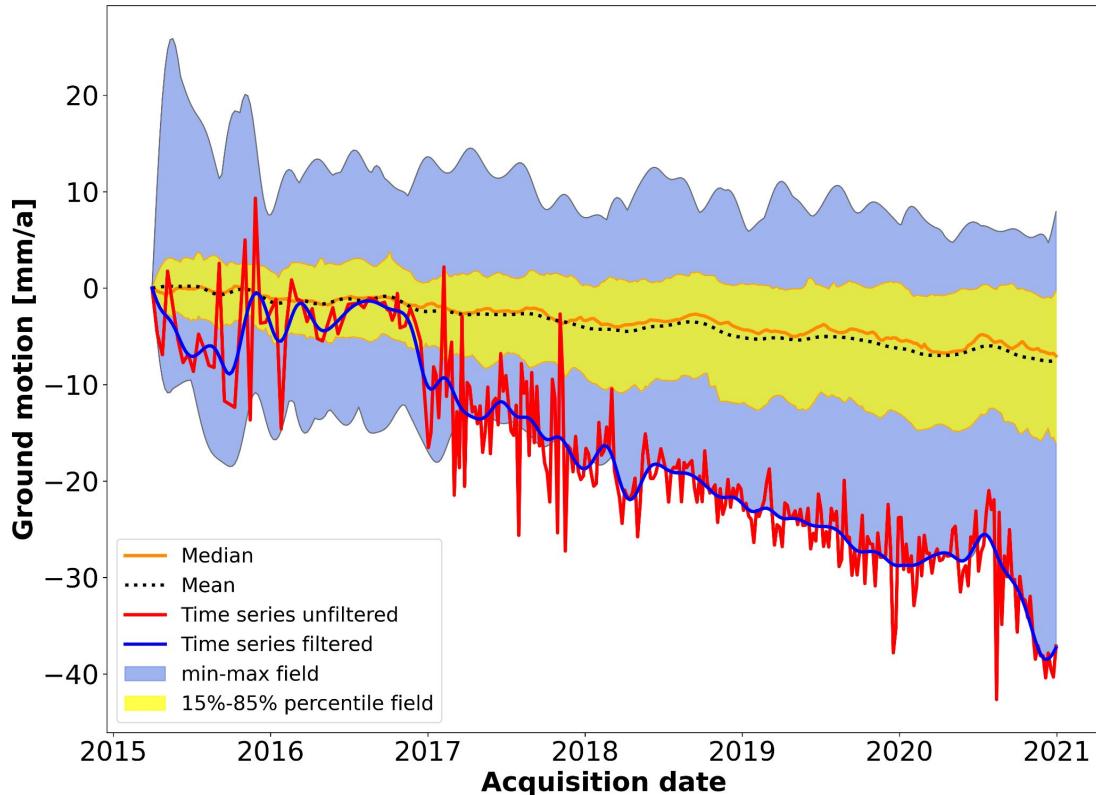


Aktuelle Themen

Klassifizierung

Abb. 32: Berechnung von Toleranzkorridoren zur Klassifizierung von Bodenbewegungszeitreihen an Deichen

[Hoogestraat, Dieter; Sudhaus, Henriette; Omlin, Andreas, 2023: Assessing PS-InSAR ground motion data toward stability monitoring of coastal flood protection dikes DOI: <https://doi.org/10.23689/fidgeo-5734>]



Aktuelle Themen

Displacement [mm]

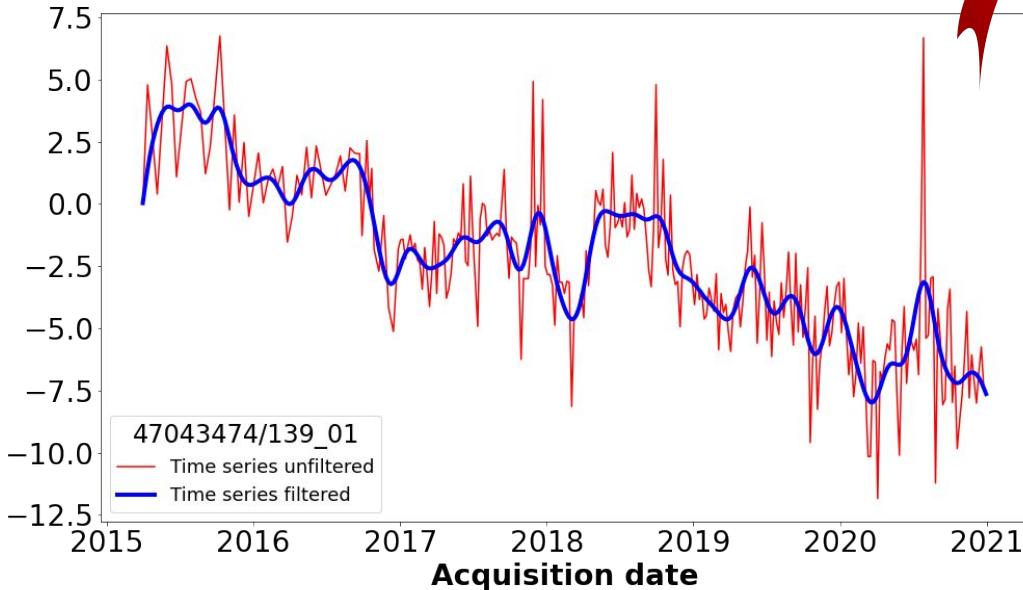
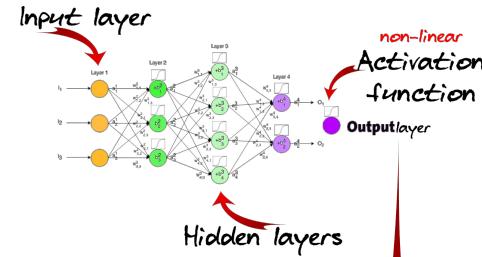


Abb. 33: Skizze: Zukunft: KI als Hilfsmittel? [unveröffentlicht]



geospaziell
sinnvolle
Zeitreihen-
zerlegung?

Conclusion

Das Monitoring von Bodenbewegungen ist gerade vor dem Hintergrund der nachhaltigen und klimaschützenden Nutzung des Untergrundes wertvoll.

(PS-)InSAR bietet eine kostengünstige Möglichkeit zur großräumigen Datenerfassung von Bewegungen.

Die von Deutschland oder der EU zur Verfügung gestellten InSAR-Daten und daraus abgeleiteten Produkte erlauben bereits eine Beobachtung von Bodenbewegungen auch in tektonisch ruhigen Regionen wie Schleswig-Holstein und Hamburg.

Nach der flächenhaften Betrachtung von Bewegungsraten kommt es m. E. nun auf die Betrachtung der Zeitreihen selbst an.

Die Frage, wie nützlich KI-Verfahren in diesem Zusammenhang sind, ist noch nicht beantwortet.

Dieter Hoogestraat 



toppoint e.V. - Hackerspace and Innovation Lab (hog)

Cand. M.Sc. Geophysik, CAU Kiel

Radarfernerkungung, KI, Hydroakustik

hog@toppoint.de

dieter@hoogestraat.dk

Die meisten der hier gezeigten Inhalte
sind das Ergebnis einer Kooperation
von



Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit



Links

[Platetectonics] <https://de.wikipedia.org/wiki/Plattentektonik>

[SH Untergrund]

https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/G/geologie/Downloads/Anlage_Datenkategorisierung_Az5401_003.html?nn=1ef6a8fc-b16e-4572-983f-9cc180ab7c48

[GIA]

https://www.researchgate.net/publication/317191770_Late_Cenozoic_environmental_changes_along_the_Norwegian_margin

[Sealevel rise] <https://sealevelrise.hcu-hamburg.de/>

[CCS] <https://www.globalccsinstitute.com/>

[IPCC on CCS] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_wholereport.pdf

[Bergschaden] <https://de.wikipedia.org/wiki/Bergschaden>

[Geothermie/Staufen im Breisgau] https://de.wikipedia.org/wiki/Hebungsrisse_in_Staufen_im_Breisgau

[Nivellement] <https://de.wikipedia.org/wiki/Nivellement>

Links

[GPS] <https://www.fsd.ed.tum.de/research/sensors-data-fusion-and-navigation/research-and-competence-areas/satellite-navigation/>

[InSAR] <https://site.tre-altamira.com/insar/>

[InSAR Detail, ESA]

https://www.esa.int/About_Us/ESA_Publications/InSAR_Principles_Guidelines_for_SAR_Interferometry_Processing_and_Interpretation_by_ESA_TM-19

[InSAR Baseline]

https://www.researchgate.net/publication/351713323_Retrieval_of_digital_elevation_models_from_Sentinel-1_radar_data_-Open_applications_techniques_and_limitations/figures?lo=1

[cohdet semi-automatic detection] [https://github.com/vanhog/cohdet \]](https://github.com/vanhog/cohdet)

[Unwrapping] <https://ASF.alaska.edu/how-to/data-recipes/insar-and-unwrapping-with-gmt5sar-script/>

[PS Persistent Scatterer] Persistent Scatterer Interferometry: A review: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271615002415>

[Streumechanismen] https://gis1.servirglobal.net/TrainingMaterials/SAR/SARHB_FullRes.pdf

Links

[Time Series] Hoogestraat, Dieter; Sudhaus, Henriette; Omlin, Andreas, 2022: Using InSAR Velocity Measurements at Transmission Towers to Calibrate Ground Motion Data. DOI: <https://doi.org/doi:10.23689/fidgeo-5333>

[SeaSat] <https://eospso.nasa.gov/missions/seasat-1>

[SAR Satellites History Timeline]

https://www.researchgate.net/publication/356791826_Multi-Temporal_InSAR_for_transport_infrastructure_monitoring_Recent_trends_and_challenges

[Sentinel 1] https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1

[Scihub] <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

[EGMS] <https://egms.land.copernicus.eu/>

[BBD] <https://bodenbewegungsdienst.bgr.de/mapapps/resources/apps/bbd/index.html?lang=en>

[NISAR] <https://www.isro.gov.in/NISARSatellite.html> and <https://nisar.jpl.nasa.gov/>

[Subsidenz entlang der Elbmarschen] Hoogestraat, Dieter; Sudhaus, Henriette; Omlin, Andreas, 2021: Detecting very slow natural ground motion in Schleswig-Holstein from radar satellite data. DOI: <https://doi.org/10.23689/fidgeo-3949>

Links

[Subsidenz im Umfeld AKWs] Brunsbüttel: <https://doi.org/10.23689/fidgeo-3949>, Brokdorf: unveröffentlicht

[Subsidenz entlang der Trave] a. a. O. <https://doi.org/10.23689/fidgeo-3949>

[Hebung am Segeberger "Kalkberg"] a.a. O. <https://doi.org/10.23689/fidgeo-3949>

[Sigma-Colouring] a.a. O. <https://doi.org/10.23689/fidgeo-3949>

[Nordstrand] Hoogestraat, Dieter; Sudhaus, Henriette; Omlin, Andreas, 2023: Assessing PS-InSAR ground motion data toward stability monitoring of coastal flood protection dikes DOI: <https://doi.org/10.23689/fidgeo-5734>

[Toleranzkorridore] a.a.O. <https://doi.org/10.23689/fidgeo-5734>

[SAR Frequency Bands]

https://www.esa.int/Applications/Connectivity_and_Secure_Communications/Satellite_frequency_bands

Die ESA-Konferenz zum Thema

[Fringe] <https://fringe2023.esa.int>

Links

Mit Bezug auf die Fragen:

[Zum Verfahren der Kalibrierung der BBD-Daten anhand SAPOS-Daten]

https://www.researchgate.net/publication/338669355_A_Covariance-Based_Approach_to_Merging_InSAR_and_GNSS_Displacement_Rate_Measurements

[Aufbau eines Bodenbewegungsdienstes]

https://www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Forum_2017/Lege_BBD-in-Workshop%20A.3_Copernicus-for-Mining.pdf

[Exakte Bestimmung von Satellitenpositionen] https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Precise_Orbit_Determination

Tutorials und Einstiegspunkte

[ESA tutorials] <https://step.esa.int/main/doc/tutorials/>

[ASF] https://hyp3-docs.asf.alaska.edu/guides/introduction_to_sar/

[ESA EO Open Science: Ramon Hanssen] <https://youtu.be/PaO8TDd9vz0?si=VmZsjeb18RAaoHi5> (Video 1 aus 4 – alle sind sehenswert)