



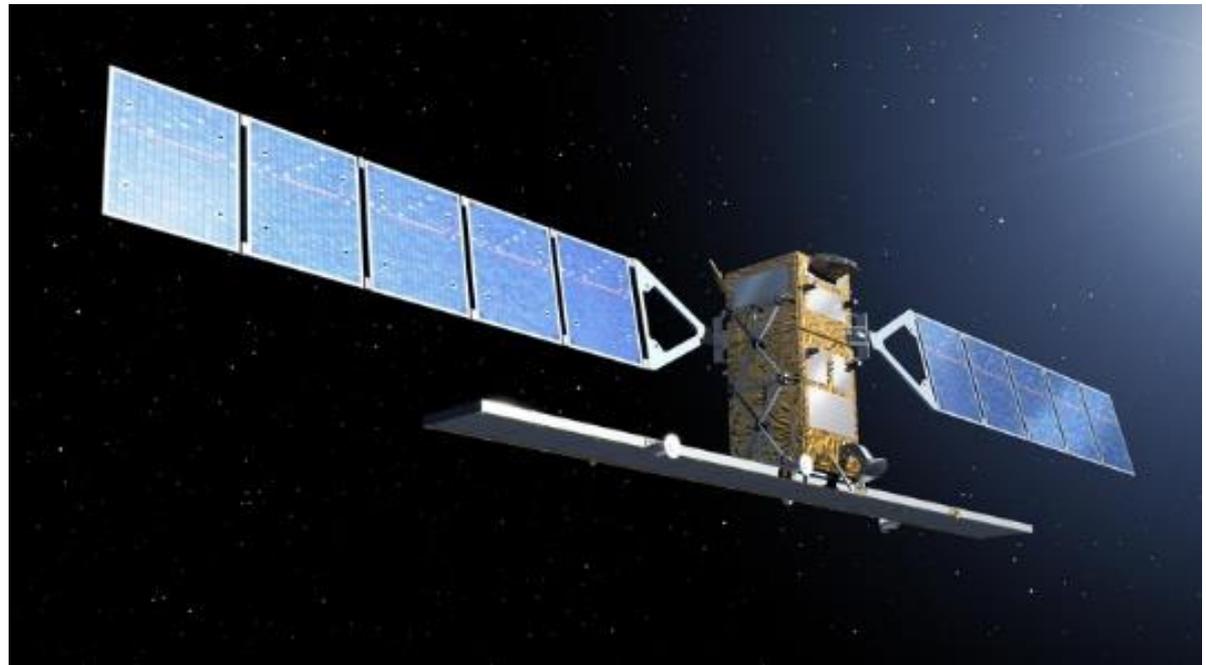
Nutzung von Fernerkundungsdaten zur Bestimmung von Bodenbewegungen in Hessen

Kolloquium HLNUG
08.12.2021

Dr. Benjamin Homuth
Tel.: 0611-6939-303
Email: Benjamin.Homuth@hlnug.hessen.de
www.hlnug.de

Inhalt

1. Einführung
2. BodenBewegungsdienst Deutschland
3. Projekt SURFACE
4. Projekt Umwelt 4.0
5. Ausblick



Quelle: <https://www.d-copernicus.de/>

Einführung Copernicus – Sentinel 1

European Union

esa

About Copernicus Sentinel-1...

WHAT?
The first in the Copernicus Sentinel series, a constellation of two identical radar imagery satellites in the same orbit, providing an all-weather, day-and-night supply of images of Earth's surface

WHEN?
Sentinel-1A was launched on 3 April 2014 and Sentinel-1B on 25 April 2016. Both were taken into orbit on a Soyuz rocket, from Europe's Spaceport in French Guiana

WHERE?
Designed and built by a consortium of around 60 companies led by Thales Alenia Space and Airbus Defence and Space

WHAT'S NEXT?
Continuity over the coming years will be ensured by the launch of additional satellites (Sentinel-1C and Sentinel-1D). Furthermore, a new generation of Sentinel-1 satellites is being prepared, to take up the relay from the first generation

APPLICATIONS
Main applications include:
• Monitoring sea ice and icebergs • monitoring of land ice (glaciers, ice sheets, ice caps) • river and lake ice monitoring • oil spills and ships • marine winds & waves • land-use change, agriculture, deforestation • land deformation • and support to emergency management such as floods and earthquakes

DATA AND USERS
As of end 2020, about 6 million products have been generated and made available for download, culminating a total of 10 Petabytes. More than 30 million Sentinel-1 product downloads have been made by users, representing nearly 40 Petabytes. Data are exploited by various users: Copernicus Services, public institutions, scientists, commercial companies

BENEFITS
Services relate to:
• Monitoring of Arctic sea-ice extent • routine sea-ice mapping • maritime surveillance (oil spill monitoring, ship detection, illegal fisheries) • monitoring land-surface for motion risks including subsidence, landslides • understanding of Earth processes (earthquakes, volcanoes) • monitoring of infrastructure • mapping for forest, water and soil management • and mapping to support humanitarian aid and crisis situations

DATA ACCESS
<https://scihub.copernicus.eu/>

© ESA, 2021

copernicus
Europe's eyes on Earth

Einführung

Radarinterferometrie

Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) ist eine Methodik der SAR-Interferometrie zur Nutzung von Phasenunterschieden bei der Erfassung der Empfangsstärken der vom Gelände zurückkommenden Signale mit zwei nebeneinander angeordneten Antennen.

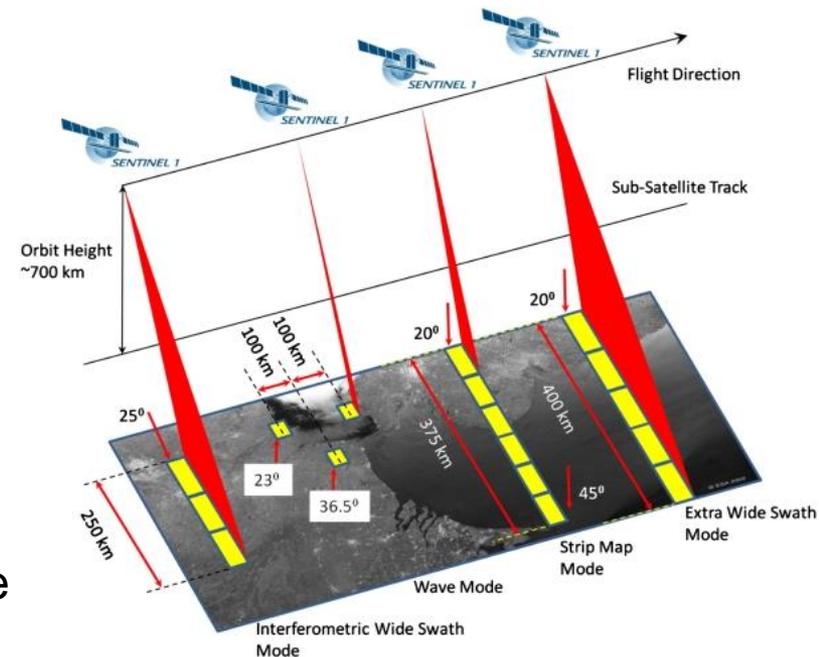
Aus diesen Phasenunterschieden können durch komplexe Rechenoperationen Objekthöhen der Geländetopographie und damit digitale Geländemodelle prozessiert werden.

Anwendungsfelder der Radarinterferometrie sind die Erfassung von Veränderungen der Erdoberfläche im mm- und cm-Bereich (Gletscher, Vulkanismus, Hangrutschungen, Erdbeben, (bergbaubedingte) Senkungen/Hebungen usw.).

Einführung

SAR-Interferometrie – Methode PSI

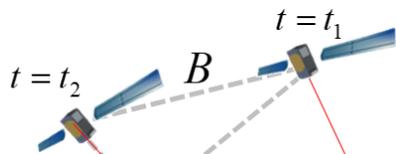
Techniken auf Basis von Persistent Scatterer Interferometrie (PSI) sind eine relativ neue Entwicklung des konventionellen InSAR und beruhen auf der Untersuchung von Pixeln (Objekte am Boden) im SAR-Bild, die über eine Folge von Interferogrammen kohärent (konsistente und stabile Radarreflexionen) bleiben. Aus der Änderung der Phase über die Zeit kann eine Deformationszeitserie abgeleitet werden. Im Allgemeinen sind solche Techniken in städtischen Gebieten mit vielen permanenten Strukturen am nützlichsten.



Quelle: sentinels.copernicus.eu

Einführung SAR-Interferometrie – Methode PSI

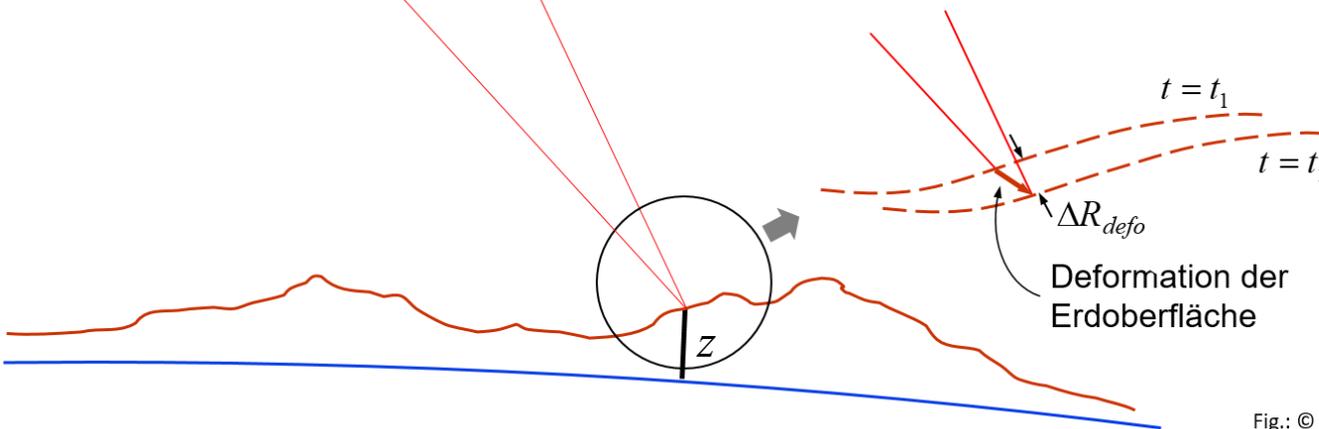
Differentielle SAR-Interferometrie



Interferometrische Phase:

$$\phi = \phi_{topo}(z; B) + \phi_{defo} + \phi_{atmo} + \phi_{noise}$$

$$\phi_{defo} = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta R_{defo}$$

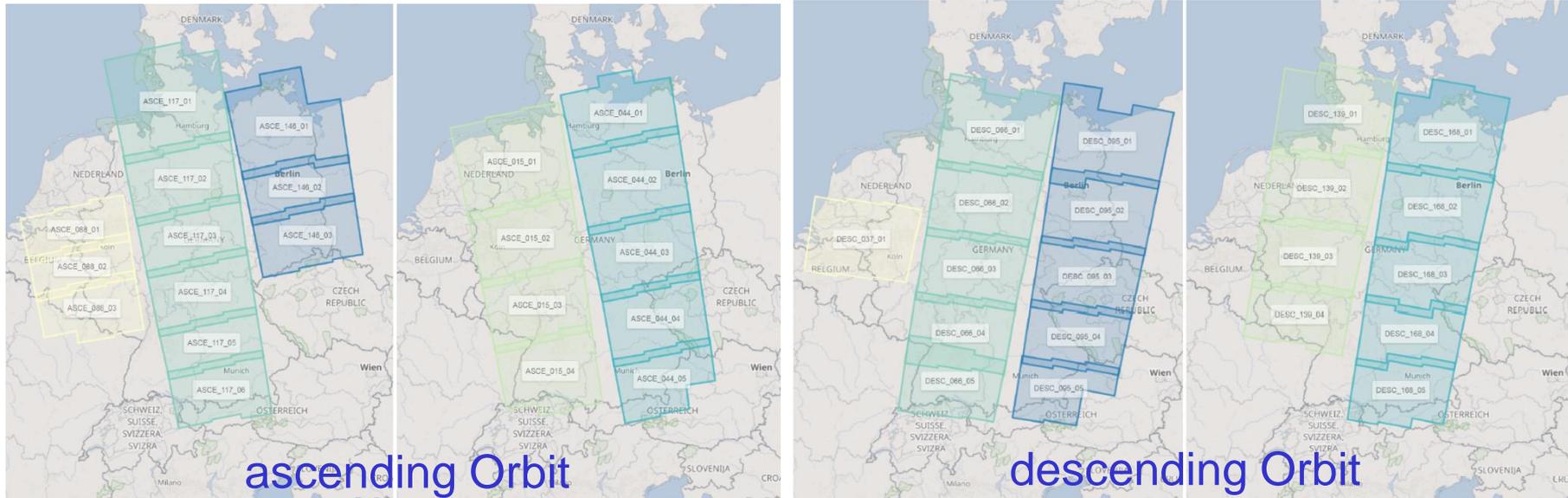


Die PSI Daten basieren auf Zeitreihen von SAR Aufnahmen. Diese sind durch eine mittlere räumliche Auflösung von ca. 5m x 20m gekennzeichnet.

Fig.: © DLR

Aufnahmeprinzip einer SAR Aufnahme

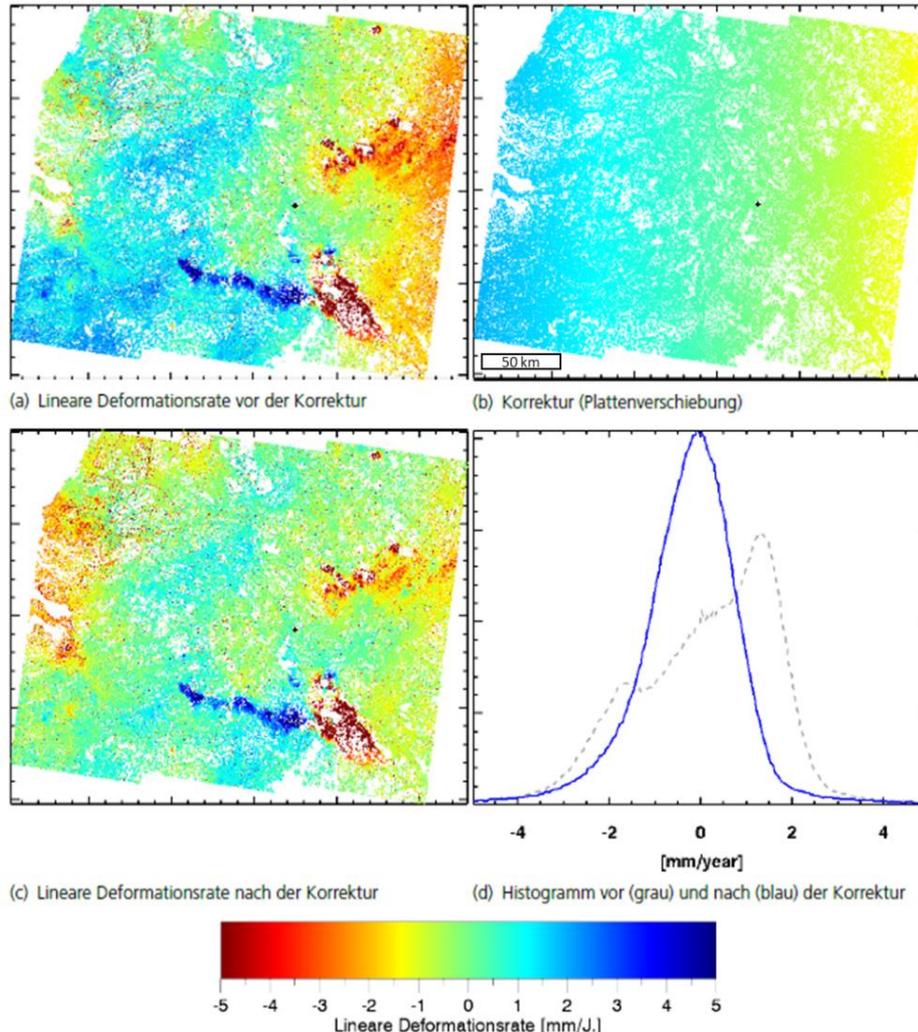
Einführung SAR-Interferometrie – Methode PSI



Quelle: BGR

Die Sentinel-1 Satelliten umrunden die Erde auf einem polnahen Orbit, weshalb die Flugrichtung zum einen von ca. Nord nach Süd (descending Orbit) und zum anderen von ca. Süd nach Nord (ascending Orbit) ausgerichtet ist. Da die SAR Antenne eine rechtsblickende Schrägsicht nutzt, wird die Erdoberfläche beim descending Orbit von ca. Ost nach West beobachtet, bzw. beim ascending Orbit von ca. West nach Ost. Aufgrund der LOS (Line of Sight) Geometrie und insbesondere der Flugrichtungen sind PSI Daten sensitiv für Deformationen der Erdoberfläche in vertikaler und in Ost-West Richtung.

Einführung Kalibrierung

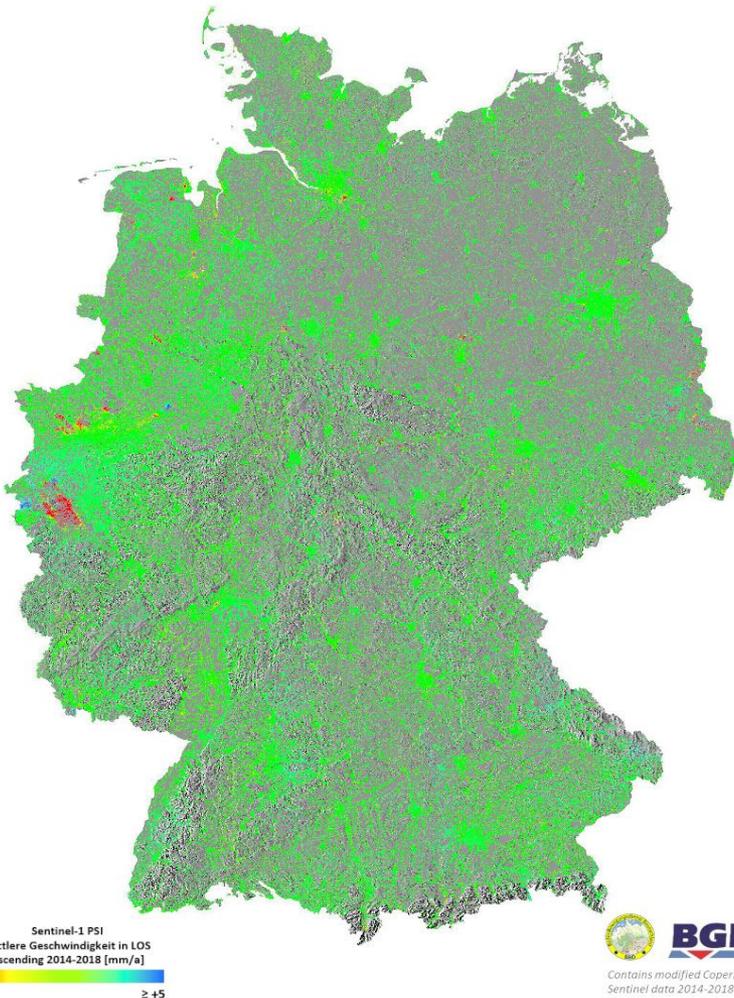


Für die Kalibrierung der PSI Datenprodukte werden die national verfügbaren GNSS (Globales Navigationssatellitensystem) Daten der GREF (Integriertes geodätisches Referenznetz Deutschlands des BKG) und SAPOS (Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessungen) Stationen genutzt.

Bekannte großräumige Bewegungen wie die Erdgezeiten oder die plattentektonische Verschiebung Europas nach Nordosten müssen rechnerisch korrigiert werden.

BodenBewegungsdienst Deutschland (BBD)

BodenBewegungsdienst Deutschland



AK6 des DK der SGD von 2017-2021

Ziele (u.a.):

Begleitung des Aufbaus des
BodenBewegungsdienstes Deutschland

Validierung der Daten anhand von
Pilotprojekten

Erstellung von Handlungsempfehlungen zur
Nutzung und Zugänglichkeit der
Bodenbewegungsdaten

Betrachtung und Bewertung der
Konsequenzen und Handlungszwänge des
BBD auf bestehende Geogefahren und
deren Handhabung

BBD – Qualitätssicherung/Validierung

Pilotstudien HLNUG: Durchführung von zwei Validierungsstudien im südhessischen Raum

VALIDIERUNG VON PERSISTENT SCATTERER-DATEN IN SÜDHESSEN

BODENBEWEGUNGSDIENST DEUTSCHLAND
PILOTSTUDIE 2019



PROJEKTZIEL

Eine Validierung der PS erscheint durch den Vergleich mit den wenigen, dem HLNUG zur Verfügung stehenden geodätischen Vermessungsdaten möglich. Hierzu zählen z.B. mehrere im Projektgebiet liegende Hochwasserrückhaltebecken, die im Rahmen der hessischen **Zwangsvermessung** regelmäßig geodätisch vermessen werden.

KURZBESCHREIBUNG DER PROZESSE

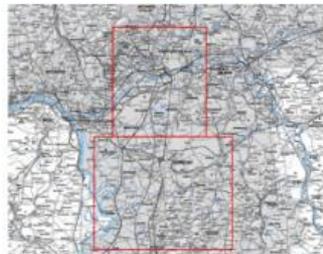
Hessisches Ried: Hebungen und Senkungen der Geländeoberfläche durch den Betrieb von Erdgasspeichern, durch die Förderung von Erdöl/Erdgas sowie Hebungen durch flächigen Grundwasserwiederanstieg.

Bergsträßer Odenwald: Etwas tektonische Verschiebungen in der **EW** jüngster Erdbebenereien.

Spremlinger Horst: Etwas tektonische Verschiebungen in der **EW** jüngster Erdbebenereien.

Stadtgebiet Frankfurt: Klein-/Großräumige Senkungen durch Grundwasserentnahme im Industriegebiet Höchst; Senkungen aufgrund von **AW** Ablagerungen im Bereich einer Deponie.

LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES



Das Untersuchungsgebiet ist ein 1700 km² großes Areal und umfasst jeweils Teilbereiche des Hessischen Rieds (quartäre und tertiäre Sedimente des nördlichen Oberrheingraben), des Bergsträßer Odenwalds (**EW**) und **AW** der Mitteldeutschen **AW** und des Spremlinger Horstes (Rotliegend und Tertiär) östlich von Darmstadt sowie das Stadtgebiet Frankfurt.

BEWERTUNG DES BBD FÜR DIE UNTERSUCHTEN PROZESSE

In der erweiterten Region (Stadtgebiet Frankfurt) sind mehrere Aberrationsgebiete erkennbar. Der Oberrheingraben und der Odenwald sind hingegen weiterhin eher unauffällig. Dies bedeutet, dass geologische (langwierige) Prozesse (z. B. Neotektonik) bisher in den Daten nicht erkennbar sind.

Anthropogen verursachte Prozesse (Absenkung aufgrund von Grundwasserentnahme, Absenkung innerhalb alter Deponiekörper) sind jedoch erkennbar und mit terrestrischen Messungen des HLBG vergleichbar und somit verifizierbar.

Ob die langwierigen geologischen Prozesse bei einer längeren Datenreihe auch über die Sentinel-1 PSI-Daten erkennbar werden, konnte aufgrund der kurzen Beobachtungsdauer (Zeitreihe) nicht validiert werden, da die zu erwartenden Raten in dem zur Verfügung stehenden Datenzeitraum immer noch im Datenfehler von mindestens ± 2 mm/a liegen.

Qualitative Aussagen bezüglich dieser Prozesse können daher zum jetzigen Zeitpunkt nicht getroffen werden und müssen weiterhin untersucht werden.

GENUTZTE SYSTEME: Copernicus - **AW**
ANSPRECHPARTNER: Dr. Benjamin Hornuth: Benjamin.Hornuth@hlnug.hessen.de
INSTITUTION: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)

VALIDIERUNG VON PERSISTENT SCATTERER-DATEN IN SÜDHESSEN

BODENBEWEGUNGSDIENST DEUTSCHLAND
PILOTSTUDIE 2018



PROJEKTZIEL

Eine Validierung der PS erscheint durch den Vergleich mit den wenigen, dem HLNUG zur Verfügung stehenden geodätischen Vermessungsdaten möglich. Hierzu zählen z.B. mehrere im Projektgebiet liegende Hochwasserrückhaltebecken, die im Rahmen der hessischen **Zwangsvermessung** regelmäßig geodätisch vermessen werden.

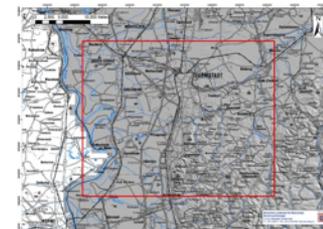
KURZBESCHREIBUNG DER PROZESSE

Hessisches Ried: Hebungen und Senkungen der Geländeoberfläche durch den Betrieb von Erdgasspeichern, durch die Förderung von Erdöl/Erdgas sowie Hebungen durch flächigen Grundwasserwiederanstieg.

Bergsträßer Odenwald: Etwas tektonische **EW** in der **EW** jüngster Erdbebenereien.

Spremlinger Horst: Etwas tektonische Verschiebungen in der **EW** jüngster Erdbebenereien

LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES



Das Untersuchungsgebiet ist ein 1000 km² großes Areal und umfasst jeweils Teilbereiche des Hessischen Rieds (quartäre und tertiäre Sedimente des nördlichen Oberrheingraben), des Bergsträßer Odenwalds (**EW**) und **AW** der Mitteldeutschen **AW** und des Spremlinger Horstes (Rotliegend und Tertiär) östlich von Darmstadt.

BEWERTUNG DES BBD FÜR DIE UNTERSUCHTEN PROZESSE

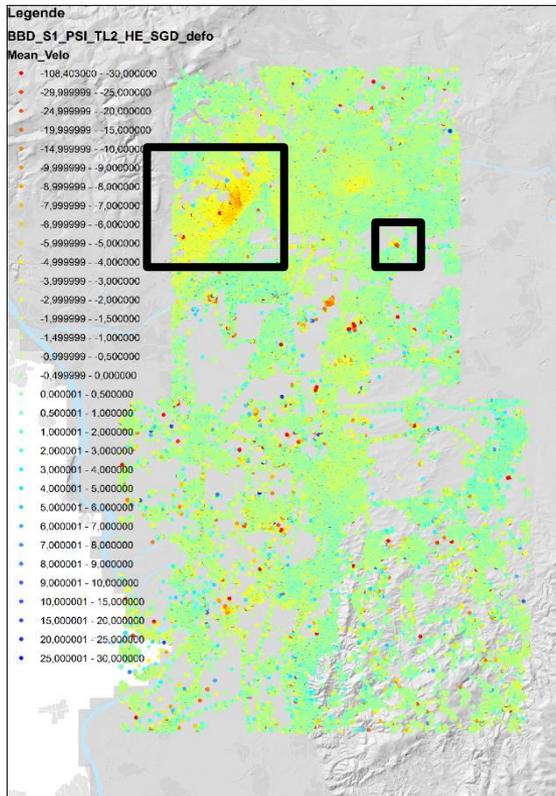
Nach den Untersuchungen des HLNUG konnte im Pilotprojektgebiet kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den untersuchten Sentinel-1 PSI-Daten und den für das HLNUG interessanten Prozessen gefunden werden. Bei den in Hessen vorherrschenden Senkungs- und Hebungsraten scheint der Messzeitraum deutlich zu kurz zu sein, um eindeutige Prozesse erkennen zu können. Diese Prozesse sind sichtbar beim Vergleich der Messungen des Hessischen Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation (HLBG). Die Ergebnisse des HLBG zeigen die relativ geringen Veränderungen in Hessen auf (max. 0,4 mm/a), die hier jedoch recht eindeutig mit geologischen bzw. hydrogeologischen Prozessen in Einklang gebracht werden können. Ob diese Prozesse bei einer längeren Datenreihe auch über die Sentinel-1 PSI-Daten erkennbar werden, konnte aufgrund der kurzen Beobachtungsdauer (Zeitreihe) nicht validiert werden, da die zu erwartenden Raten auf den zur Verfügung stehenden Datenzeitraum immer noch im Datenfehler von mindestens ± 2 mm/a liegen. Unserer Auffassung nach sind längere Zeiträume notwendig, um sicherere Aussagen treffen zu können.

Des Weiteren bestehen noch einige offene Fragen, die vor einer noch detaillierteren und ausführenderen Datenbearbeitung geklärt werden sollten. Als offene Fragen bleiben u.a.:

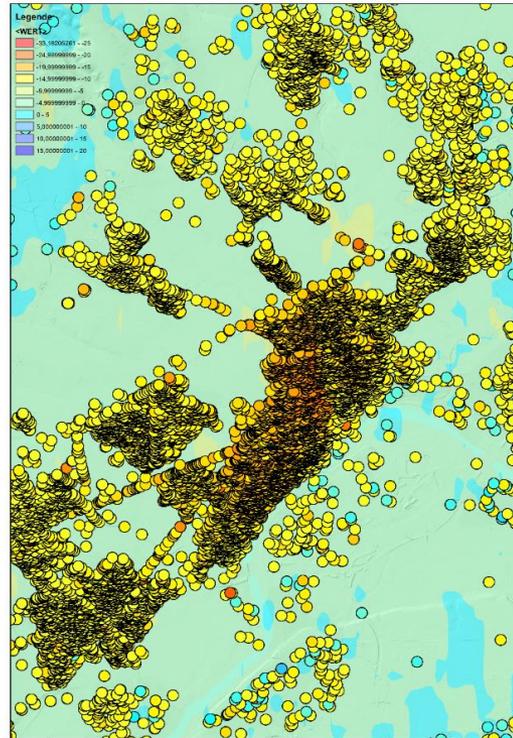
1. Wie wird der Mittelwert bestimmt?
2. Wie wird der Faktor **AW** bestimmt und was sagt er exakt aus?
3. Was ist der Grund für die unterschiedlichen Werte vor und hinter der Datenlücke?
4. Werden die Daten des gesamten Bundeslandes Hessen zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung gestellt?

GENUTZTE SYSTEME: Copernicus - **AW**
ANSPRECHPARTNER: Dr. Benjamin Hornuth: Benjamin.Hornuth@hlnug.hessen.de; Dr. Heine-Martin Möbus: Heine-Martin.Moebus@hlnug.hessen.de; Thomas Schmitzke: Thomas.Schmitzke@hlnug.hessen.de
INSTITUTION: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)

BBD – Qualitätssicherung/Validierung



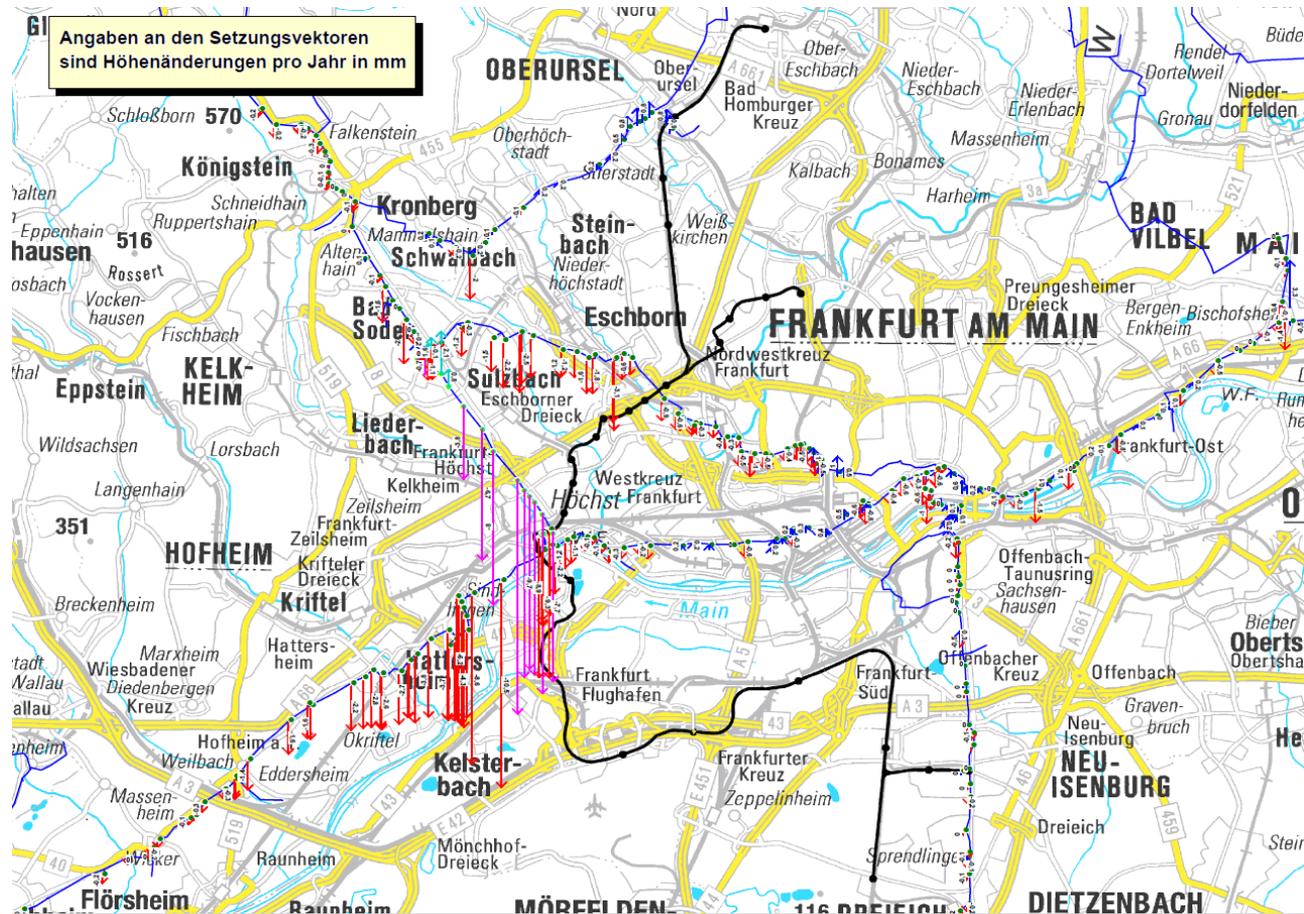
PSI-Verteilung
Südhausen



Darstellung der Bewegungsraten (mittlere Geschwindigkeit) im Bereich des Industrieparks Höchst. a) Einzelwerte mit Interpolationswerten; b) Interpolationsfläche mit Luftbild. Im Mittel senkt sich die Region um ca. 7 mm/a.

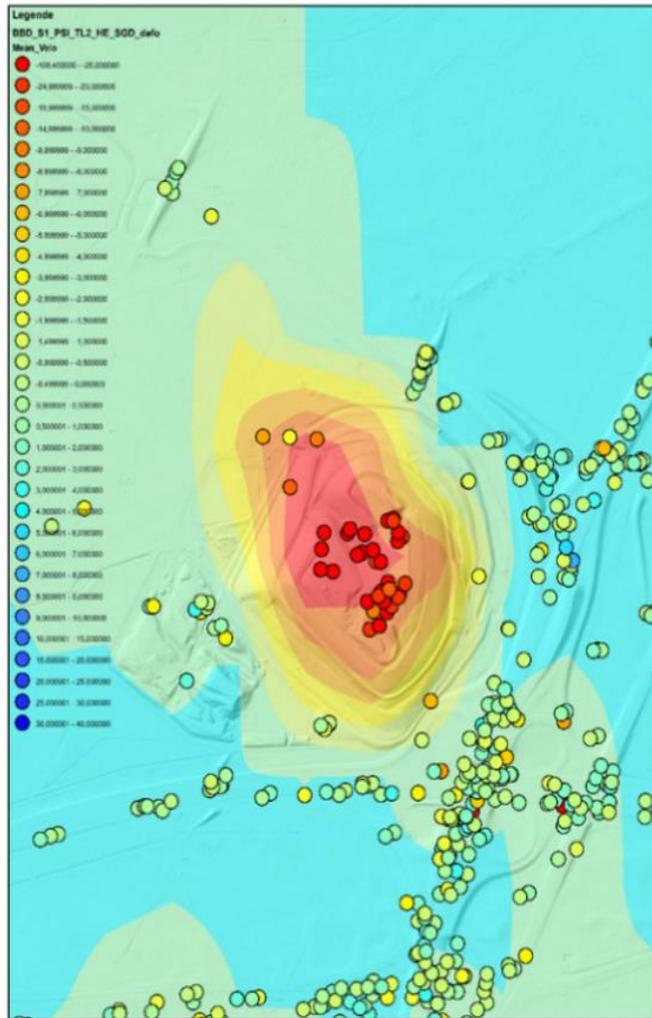
BBD – Qualitätssicherung/Validierung

Höhenvermessungen (Setzungsvektoren in mm/Jahr) des HLBG im Bereich des Industrieparks Höchst: Vergleichbare Beträge (7 – 11 mm/a) – erfolgreiche Validierung



Quelle: HLBG

BBD – Qualitätssicherung/Validierung



Darstellung der Bewegungsraten (mittlere Geschwindigkeit) im Bereich der Alt-Deponie „Monte Scherbelino“ südöstlich von Frankfurt.

Setzung des verfüllten Deponiekörpers (im Mittel: 26 mm/a)

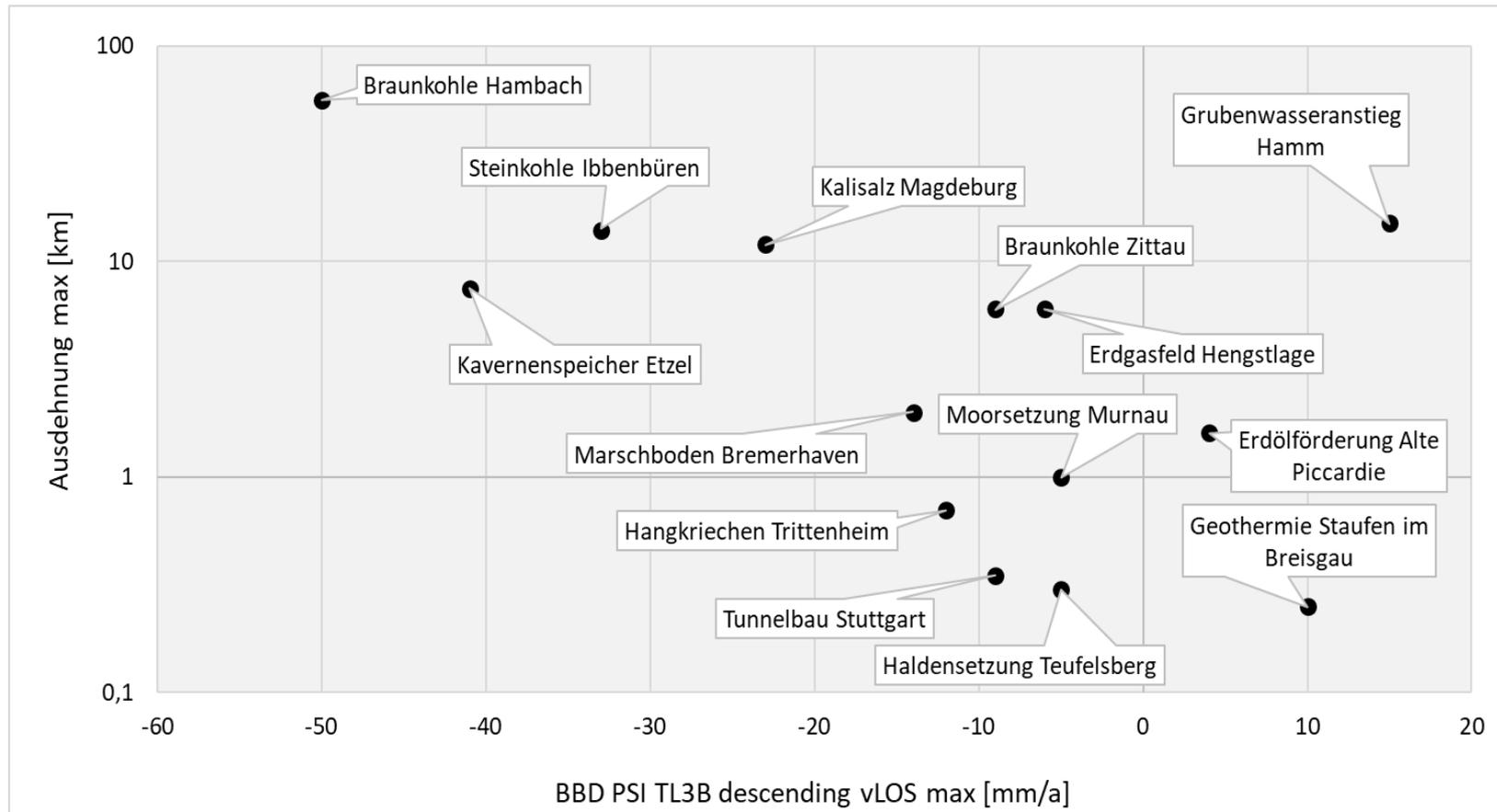
BBD - Zugänglichkeit



Der BodenBewegungsdienst Deutschland ist frei zugänglich über ein WebGIS unter der Adresse: <https://bodenbewegungsdienst.bgr.de>

BBD – Möglichkeiten und Grenzen

- Charakterisierung von Deformationen mit Geschwindigkeiten von wenigen mm bis zu einigen cm pro Jahr und einer räumlichen Ausdehnung von wenigen hundert Metern bis zu mehreren Zehner Kilometern



BBD – Möglichkeiten und Grenzen

- Gebäudesetzungen in setzungsempfindlichen Böden oder Massenbewegungen wie (langsame, stetige) Hangrutschungen (in bebautem Gebiet)



BBD – Möglichkeiten und Grenzen

- Kleinräumige Oberflächendeformationen wie z.B. Erdfälle oder Tagesbrüche können in der Regel nicht detektiert werden.



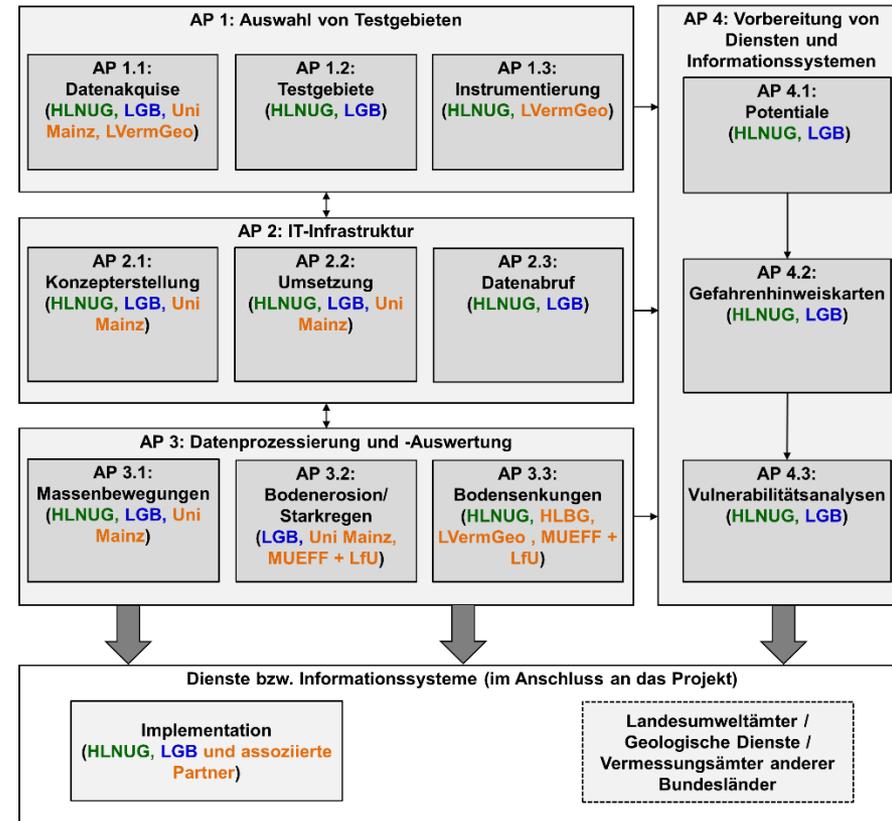
BBD – Möglichkeiten und Grenzen

- Sehr langsame Bewegungen ± 2 mm/a können nur eingeschränkt, sehr schnelle, plötzliche Bewegungen (z.B. Schlammströme oder Felsstürze) können nicht erfasst werden.
- Erosions-, Denudations- oder Sedimentationsprozesse können (mit dem aktuellen Processing) grundsätzlich nicht detektiert werden.
- In Gebieten mit Vegetationsbedeckung und Wasserflächen können keine Entfernungsänderungen ermittelt werden.
- In Gebirgen und steilem Gelände kommt es zu perspektivischen Bildverzerrungen oder Abschattungen, die sich negativ auf die PS Verteilung auswirken.
- Langanhaltende Schneebedeckung führt zu Nichtdetektion von PS.

Projekt SURFACE

Aus der AG Copernicus der Landesumweltämter heraus wurden Leuchtturmprojekte durch das DLR in 2020 gefördert.

Projektidee SURFACE - Aufbau eines Fernerkundungsumweltmonitorings für Bodenbewegungen im Einflussbereich von Infrastruktur und landwirtschaftlichen Flächen unter besonderer Berücksichtigung des Themas Starkregenvorsorge (zusammen mit RLP).



Hauptansatz: Kombination von Copernicus-Messungen mit zusätzlichen Daten sowie die Weiterentwicklung der Prozessierung von Copernicus-Daten, um insbesondere in der Fläche zusätzliche Informationen zu Bodenbewegungen und Bodenerosion zu erhalten.

SURFACE wurde beantragt, leider keine Förderung erhalten.

Projekt Umwelt 4.0

Digitalisierungsmaßnahme „Umwelt 4.0“ , Teil 2:

Nutzung digitaler Geländemodelle und Copernicus-Daten

In 2021 Projektinhalte des Projektes SURFACE in abgeänderter Form beantragt im Digitalhaushalt des Landes Hessen

Zuschuss durch Hessisches Ministerium für Digitale Strategie und Entwicklung für das Haushaltsjahr 2022 zugesagt. Ursprünglich war das Projekt bis 2025 angemeldet. Bewilligung nur für 2022, jedoch ist es möglich jedes Jahr die Fortführung neu zu beantragen.

Kooperation mit TU Darmstadt (Fachbereiche Fernerkundung und Bildanalyse und Ingenieurgeologie) angestrebt, Kooperationsvertrag in Abstimmung.

Projekt Umwelt 4.0 - Ziele

- Nutzung der Copernicus-Daten der Höhenvermessung zur Verwendung in der ingenieurgeologischen Landesaufnahme, der Geogefahrenbearbeitung und des Hochwasserschutzes.
- Aufbereitung der bundesweiten Datensätze für die Nutzung auf Landesebene und Verschnitt mit zusätzlichen Informationen hessischer Behörden und des HLNUG und zusätzlicher.
- Nutzung der digitalen Geländemodelle, z.B. unter Nutzung sogenannter ‚Differenzenpläne‘.
- Nachverfolgung von Geländeänderungen über mehrjährige Zeiträume.
- Zurverfügungstellung, Erweiterung und Modernisierung interner Arbeitsabläufe wie auch öffentliche Bereitstellung für externe (Öffentlichkeit, Universitäten, Landesämter, Kommunen etc.) Nutzer, z.B. über Geologie-Viewer des HLNUG.

Projekt Umwelt 4.0 - Umsetzung

DGM (Digitales Geländemodell) – Differenzenpläne

Auflösung DGM1: Gitterweite 1m, Höhengenaugigkeit bis +/- 0,3 m

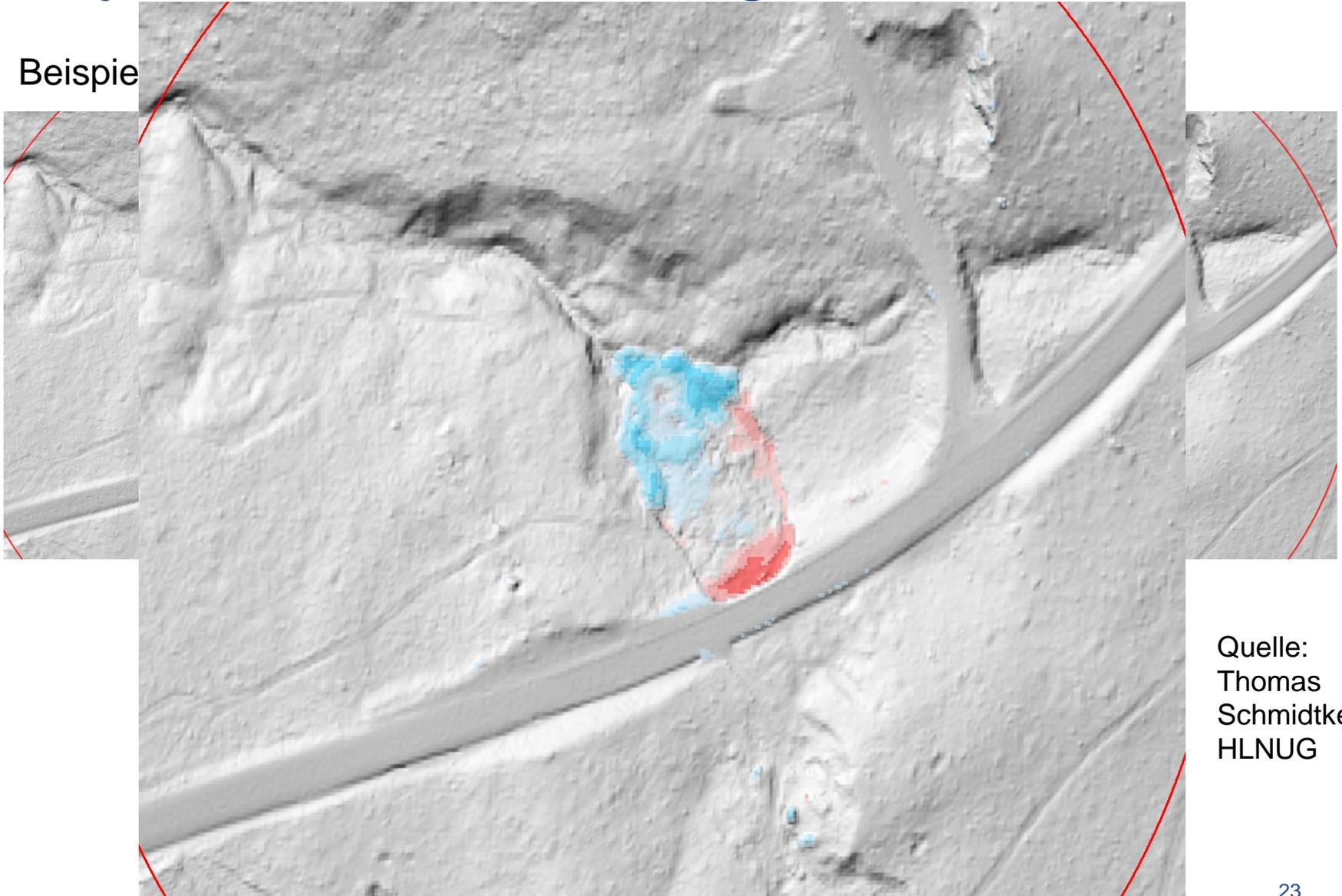
DGM Hessen:



Was ist ein Differenzenplan? DGM1 aus den Befliegungsjahren 2014 und 2019 (teilweise auch 2021) vorhanden. Vergleich DGM mit einem Film: Es sind jetzt 2 Bilder (im Abstand von ca. 6 Jahren) erstellt. Der Differenzenplan stellt die Differenz der ersten beiden Bilder dar.

Projekt Umwelt 4.0 - Umsetzung

Beispiel



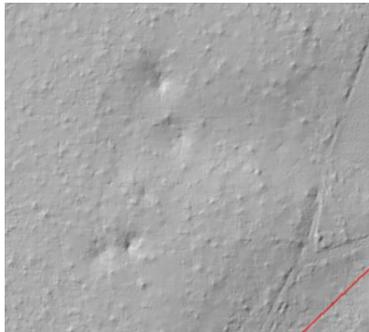
Quelle:
Thomas
Schmidtke,
HLNUG

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

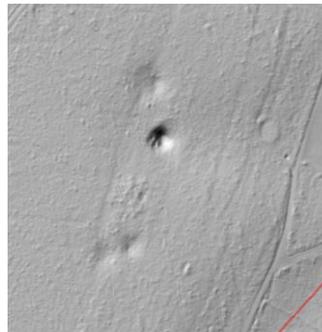
Projekt Umwelt 4.0 - Umsetzung

Weitere Beispiele:

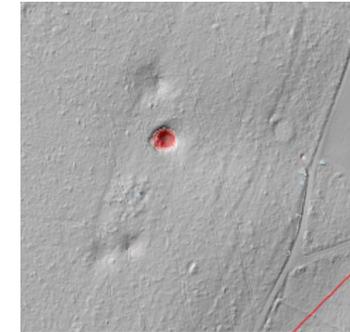
Möglicher neuer Erdfall (Überprüfung im Gelände notwendig):



Erste Befliegung



Zweite Befliegung



Differenzenplan

Quelle:
Thomas
Schmidtke,
HLNUG



Zusatz zum Differenzenplan:
Berechnung der Flächengröße und
Volumina zusammenhängender
Rasterbereiche

Damit ist es möglich zu erkennen, auf
welcher Fläche wieviel Material
entfernt oder angeschüttet wurde.

Projekt Umwelt 4.0 - Umsetzung

Herausforderungen und zukünftige Aufgaben:

Wenn das DGM und die Differenzenpläne als Arbeitsmittel im HLNUG genutzt werden sollen, müssen Arbeitsroutinen entwickelt werden:

- zur Datenspeicherung (Speicherbedarf pro km² beträgt 31 MB beim DGM1)
 - für ganz Hessen (21.115 km²) bedeutet dies für jede Zeitscheibe eine Datenmenge von ca. 655 GB
- für Monitoringaufgaben (z.B. Talsperren, Steinbrüche, etc.) Einarbeitung von Teildaten mit kürzeren Abständen in die Datenstruktur
- Datenverwaltung (Anlegen einer Datenbank der unterschiedlichen Überfliegungen)

Projekt Umwelt 4.0 - Umsetzung

Arbeitsplan 2022

6 Arbeitspakete:

AP 1: Datenzusammenstellung und Lieferung

AP 2: Datenaufbereitung

AP 3: Identifikation von Bewegungsgebieten

AP 4: Test der Zusammenführung der Datensätze
(in Pilotregionen)

AP 5: Plausibilitätsprüfungen und Verwendbarkeit
weiterer Daten

AP 6: Berichterstellung und Datenabgabe

Vorgang	2022											
	Jan 1	Feb 2	Mrz 3	Apr 4	Mai 5	Jun 6	Jul 7	Aug 8	Sep 9	Okt 10	Nov 11	Dez 12
Arbeitspaket 1 "Datenzusammenstellung und Lieferung"	█											
Datensammlung und Bereitstellung (HLNUG)	█											
Datenüberlassungsvereinbarung (HLNUG)	█											
Arbeitspaket 2 "Datenaufbereitung"		█	█	█	█	█						
Darstellung nach Vorgaben des AK6 (HLNUG, FB13)		█	█	█	█	█						
Workflow Erstellung (HLNUG, FB13)		█	█	█	█	█						
Datenaufbereitung (HLNUG, FB13)		█	█	█	█	█						
Arbeitspaket 3 "Identifikation von Bewegungsgebieten"			█	█	█	█	█	█				
Identifikation aus Laserscan-Daten (HLNUG, FB11)			█	█	█	█	█	█				
Identifikation aus Copernicus-Daten (HLNUG, FB13)			█	█	█	█	█	█				
Arbeitspaket 4 "Test der Zusammenführung der Datensätze "								█	█	█		
Verschnitt der Datensätze (Test) (HLNUG, FB11, FB13)								█	█	█		
Arbeitspaket 5 "Plausibilitätsprüfungen und Verwendbarkeit weiterer Daten"										█	█	█
Plausibilitätsprüfungen (HLNUG, FB11)										█	█	█
Prüfung weiterer Datenquellen (HLNUG, FB13)										█	█	█
Arbeitspaket 6 "Berichterstellung und Datenabgabe"												█
Berichterstellung (HLNUG, FB11, FB13)												█
Datenabgabe (HLNUG, FB11, FB13)												█

Ausblick (bei mehrjähriger Förderung)

Von Pilotregionen auf hessenweite Ausarbeitung

Weitere denkbare Ziele:

- **Vulnerabilitätsanalysen von Infrastrukturanlagen** im Einflussbereich von Hängen sowohl durch Großrutschungen als auch durch Muren und Felsstürze.

Als Ergebnis könnte ein Infrastrukturmonitoring und eine Vulnerabilitätsanalyse für Verkehrsnetze angestrebt werden.

Ausblick (bei mehrjähriger Förderung)

Weitere denkbare Ziele:

- **Monitoring von Bodensenkungsgebieten infolge Fluidentnahmen im Untergrund und/oder durch Schrumpfung entsprechend empfindlicher Böden durch Austrocknung**
- **Korrelation mit Änderungen des Grundwasserspiegels?** Es soll beispielsweise festgestellt werden, ob extreme Trockenperioden mit besonders niedrigen Grundwasserständen, eine deutliche Setzung des Bodens nach sich ziehen (Schäden aus Kassel, Offenbach und Wiesbaden bereits bekannt aus den letzten Jahren).
- **Einfluss des Klimawandels? Saisonalität? Periodizität?**
- **Korrelation mit Gips- (bzw. Anhydrit-) Vorkommen?**
- **Bergbaubedingte Senkungen**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



© Digitale/Heibel

Das HLNUG auf Twitter:

https://twitter.com/hlnug_hessen



Für eine lebenswerte Zukunft