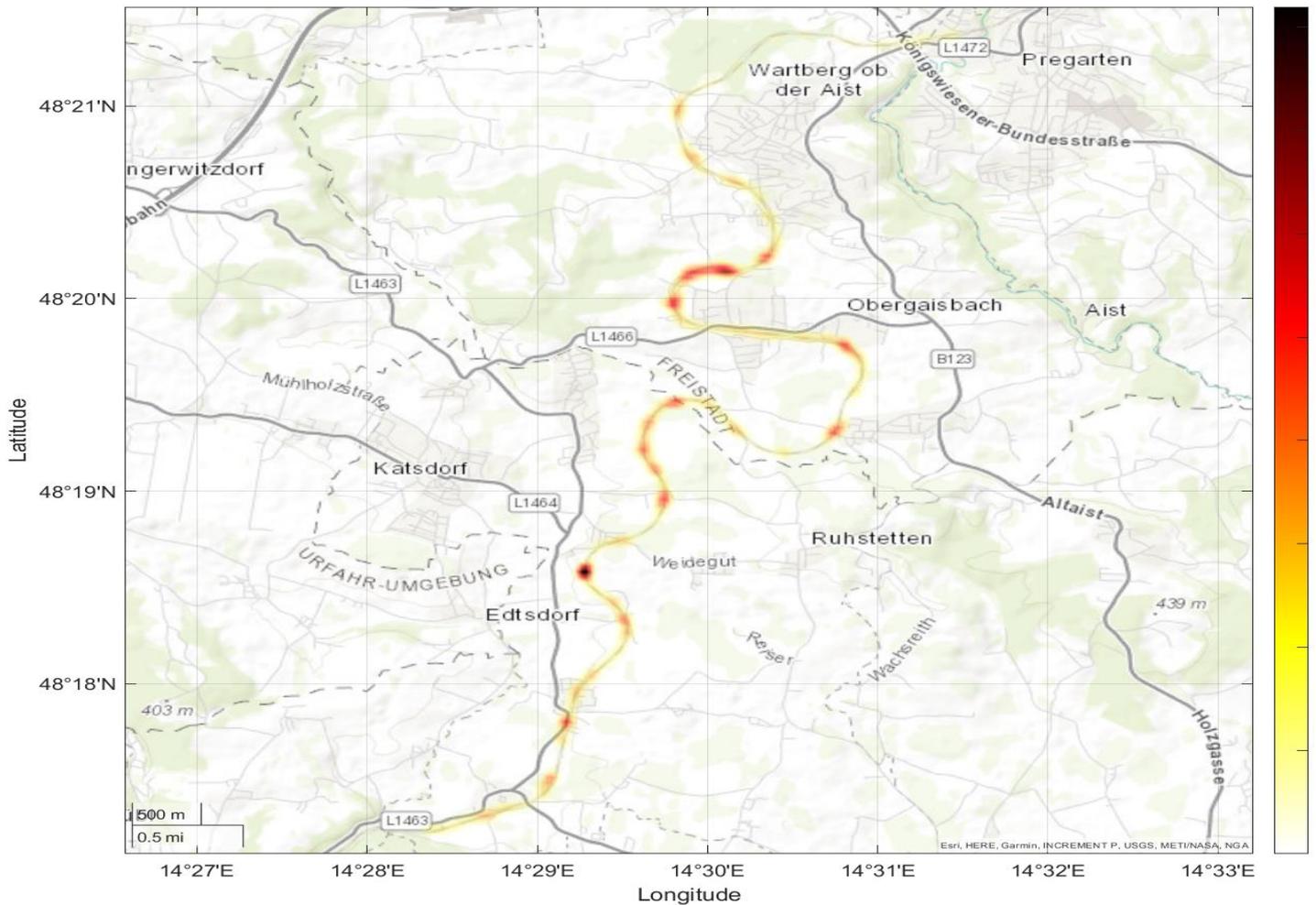




GEORESEARCH



# PS-00E

**Potenzialstudie über die Anwendbarkeit satelliten-basierter InSAR-Messungen zur Überwachung der Straßen- und Schieneninfrastruktur sowie zur Beurteilung von Bewegungen im bebauten Gebiet in Oberösterreich**

*Endbericht*

# 1. Impressum

## Herausgeber:

GEORESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Techno-Z Wissenspark Salzburg-Urstein,  
Urstein Süd 15, 5412 Puch bei Hallein, [www.georesearch.ac.at](http://www.georesearch.ac.at);

Oö. Boden- und Baustoffprüfstelle GmbH Schirmerstraße 12, 4060 Leonding,  
<https://www.bps.at/>

## Autoren:

Markus Dörfler, Elisabeth Gaisberger, Ingo Hartmeyer, Carolin Köss, Markus Keuschnig

## Fördergeber:

Abteilung Wasserwirtschaft, Gewässerschutz und Landesgeologie – Land Oberösterreich

## Version:

1.2

## Datum:

15.03.2024

## Titelbild:

InSAR Hotspot-Analyse entlang der Bahntrasse von Wartberg ob der Aist bis Lungitz

## ***Haftungsausschluss***

Dieses Dokument enthält vertrauliche, geschützte Informationen und ist ausschließlich für den Empfänger bestimmt. Der Inhalt dieses Dokuments, einschließlich der Informationen, die sich auf die Methodik und das Know-how von GEORESEARCH beziehen, darf ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung von GEORESEARCH weder ganz noch teilweise an Dritte weitergegeben oder für einen anderen Zweck verwendet werden.

## 2. Zusammenfassung

Die vorliegende Potentialstudie untersucht die Anwendbarkeit satellitengestützter Radarinterferometrie (InSAR) für die Überwachung von Verkehrsinfrastrukturen und Siedlungsbereichen in Oberösterreich. Die Studie konzentriert sich vor allem auf die Anwendbarkeit von InSAR-Daten zur Detektion von Bewegungen in geologisch herausfordernden Schichten wie dem Älteren Schlier.

Die Untersuchungsgebiete liegen östlich von Linz nahe Engerwitzdorf und Tragwein. Das Landschaftsbild ist durch eine weite Senke und sanft gewellte Geländemorphologie geprägt. Die beiden Untersuchungsgebiete werden aus geologischer Sicht wesentlich durch das Vorhandensein von „Älterem Schlier“ geprägt, ein veränderlich festes, wasserempfindliches und gering wasserdurchlässiges Sedimentgestein der Molassezone. Es liegen gemäß der Gefahrenhinweiskarte (DORIS webGIS: Gefahrenhinweiskarte für gravitative Massenbewegungen und HORA: Gefahrenhinweiskarte Rutschungen) über weite Flächen Hinweise auf eine hohe Rutschungsanfälligkeit vor.

Die für die Studie eingesetzte Methodik basiert auf der Analyse von InSAR-Daten, wobei sowohl Daten der AUGMENTERRA GmbH als auch des European Ground Motion Service (EGMS) verwendet wurden. In-situ-Daten von Inklinometer-Messungen wurden zur Validierung der InSAR-Auswertungen ebenso herangezogen wie geologische und geomorphologische Hintergrundinformationen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden in einer initialen, großskaligen Überblicksanalyse Hotspots der Bodenbewegung identifiziert. In einer anschließenden Detailanalyse wurden rund 10.000 Einzelobjekte hinsichtlich ihres Bewegungsverhaltens untersucht und mehr als 1 Million Einzelmesspunkte charakterisiert. Die Plausibilisierung der InSAR-Analysen mittels punktueller In-situ-Messungen unterstrich dabei die Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

Die im Untersuchungsgebiet detektierten Bewegungsraten schwankten zwischen wenigen Millimetern bis hin zu 5 cm pro Jahr. Stärkere Bewegungen wurden etwa im Bereich der Bahntrasse nahe Nöbling und in Obervisnitz identifiziert. Die identifizierten Bewegungen wurden zum überwiegenden Großteil als lokale Setzungen klassifiziert. Eine großflächige Regressionsanalyse zwischen mittlerer Bewegungsrate und Hangneigung auf Gebäudeebene zeigte keinen statistisch signifikanten Zusammenhang. Trotz des sehr niedrigen Restscherwinkels des Älteren Schliers war mit zunehmender Gelände- bzw. Hangneigung keine beschleunigte Bewegung zu beobachten.

Einschränkungen der InSAR-Anwendung bestehen in bewaldeten Gebieten bzw. Bereichen mit stark veränderlicher Vegetation, wo die im Rahmen der Studie genutzten Sentinel-Daten auf Grund ihres Frequenzbereichs (C-Band) keine verwertbaren Informationen liefern. Abhilfe würde hier die Montage künstlicher Reflektoren (Corner-Reflektoren) schaffen, die auch in vegetationsbedecktem Terrain die verlässliche Bewegungsdetektion erlaubt. Die zweite Einschränkung betrifft die maximal detektierbare Bewegungsgeschwindigkeit: Bewegungsraten von mehr als 1-2 cm (Sentinel 1 – C-Band) zwischen zwei Messungen (bzw. maximal 5-6 cm pro Jahr bei einer Auswertung mittels SqueeSAR-Algorithmus) können nicht

erfasst werden. Somit sind die durchgeführten Analysen nur für langsame, kriechende Bewegungen und Setzungen geeignet.

Die Analysen zeigen, dass der EGMS-Service aufgrund seiner Charakteristik (europäische Skala, Probleme mit den topographischen Herausforderungen eines Gebirgslandes) und der geringen Punktdichte hauptsächlich als Überblickstool verwendet werden sollte. Viele wesentliche Bewegungsbereiche konnten nicht in ausreichender Form charakterisiert werden (geringe Punktdichte), in anderen Fällen wurden bauliche Tätigkeiten (z.B. Asphaltierungsarbeiten) als Bewegungen klassifiziert (geringe Kohärenz in den Zeitserien). Daher sind für die Überwachung von Infrastrukturen (insbesondere Straßen oder Bahnlinien) wie auch von einzelnen Bauwerken entsprechend hochaufgelöste InSAR-Produkte mit hoher Punktdichte notwendig.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstreichen die Eignung von InSAR für die Detektion und Überwachung von Bodenbewegungen in Siedlungsgebieten und entlang von Verkehrsinfrastrukturen. Wie in dieser Studie aufgezeigt, hat satellitenbasiertes InSAR aufgrund seiner Skalenabdeckung großes Potential im öffentlichen Dienst. Zu den relevanten Anwendungsfeldern zählen die Gewährleistung von Sicherheit, die vorausschauende Wartung (geringere Kosten und Reduktion außerplanmäßiger Unterbrechungen) und die Maßnahmenplanung im Naturgefahren-, Geotechnik-, Raumplanungs- und Wasserbereich. Ein großer Vorteil der InSAR-Anwendungen liegt dabei in ihrer historischen Perspektive: Durch die gezielte Auswertung von Bestandsdaten kann bis zu zehn Jahre in die Vergangenheit geblickt werden und Bodenbewegungen können präzise über große Flächen rekonstruiert werden. InSAR-Informationen bilden somit eine wertvolle Unterstützung für nachhaltige und kosteneffiziente Entscheidungen.

### 3. Inhaltsverzeichnis

1.	Impressum.....	1
2.	Zusammenfassung.....	2
3.	Inhaltsverzeichnis .....	4
4.	Abkürzungsverzeichnis.....	5
5.	Problem- und Fragestellung .....	6
6.	Untersuchungsgebiet.....	7
6.1	Lage der Untersuchungsgebiete .....	7
6.2	Geologie .....	8
6.3	Hydrogeologische Situation.....	12
6.4	Gefahrenhinweiskarte Rutschungen, HORA .....	13
6.5	Gefahrenhinweiskarte Gravitative Massenbewegungen.....	15
6.6	Bodenmechanische Eigenschaften des Älteren Schliers.....	17
7.	Methodik .....	19
7.1	InSAR: Funktionsprinzip und Datenquellen .....	19
7.2	Hotspot-Analyse.....	20
7.3	Validierung.....	21
7.4	Verwendete Tools .....	21
8.	Ergebnisse .....	22
8.1	Hotspot-Überblicksanalyse .....	22
8.2	Hotspot-Detailanalyse.....	29
8.3	Regressionsanalyse.....	46
8.4	Validierung.....	48
9.	Diskussion .....	57
9.1	Identifizierung von Bewegungsschwerpunkten (Hotspots) .....	57
9.2	Detektion von Übergangsbereichen zwischen bewegtem und unbewegtem Terrain...62	
9.3	Validierung der InSAR-Messungen durch In-situ-Messungen .....	63
9.4	Anwendungsgrenzen von InSAR.....	63
10.	Ausblick.....	65
11.	Literaturverzeichnis .....	67
12.	Abbildungsverzeichnis.....	69
13.	Tabellenverzeichnis.....	70

## 4. Abkürzungsverzeichnis

<b>AOI</b>	Area of Interest – dt. Untersuchungsgebiet
<b>ASC</b>	Ascending Modus – dt. aufsteigender Modus
<b>DEM</b>	Digital Elevation Model – dt. Geländemodell
<b>DSC</b>	Descending Modus – dt. absteigender Modus
<b>DSM</b>	Digital Surface Model – dt. Oberflächenmodell
<b>EGMS</b>	European Ground Motion Service
<b>ESA</b>	European Space Agency
<b>InSAR</b>	Interferometric Synthetic Aperture Radar – dt. Radarinterferometrie
<b>LOS</b>	Line of Sight – dt. Blickwinkel der Satellitenaufnahme
<b>MP</b>	Messpunkt
<b>RADAR</b>	Radio Detecting and Ranging
<b>SAR</b>	Synthetic Aperture Radar
<b>SB-InSAR</b>	Satellite-based InSAR
<b>VEL</b>	Velocity – dt. Bewegungsgeschwindigkeit (pro Jahr)

## 5. Problem- und Fragestellung

Satellitenbasiertes (SB) InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar, dt. Radarinterferometrie) ist gegenwärtig die einzige Methode mit dem Potential Bewegungen der Erdoberfläche:

- (i) präzise und direkt (Millimeter-Genauigkeit),
- (ii) skalierbar (von einzelnen Gebäuden bis zu großen Flächen) und
- (iii) über lange Zeiträume (von weniger als einem Jahr bis zu 25 Jahren, historische Archive) zu untersuchen. SB-InSAR wird bereits großflächig im Bundesland Salzburg zur Bauwerksüberwachung eingesetzt (u.a. durch das Land Salzburg, APG und ÖBB).

Das Land Oberösterreich gehört zu den großen Infrastrukturbetreibern in Österreich. Allein das Straßennetz umfasst ca. 6 000 Kilometer (<https://www.land-oberoesterreich.gv.at/37083.htm>). Zu den großen Herausforderungen zählen eine verbesserte Verlässlichkeit des Betriebes und der Betriebssicherheit. Wesentlich dafür ist die frühzeitige Erkennung von Bodenbewegungen oder Bauwerksdeformationen bevor kostspielige Reparaturen oder Ausfälle verursacht werden (vorausschauende Wartung/predictive maintenance).

Inhalt des Projekts ist die Durchführung einer Potentialstudie über die Anwendbarkeit von satellitengestütztem InSAR für die Überwachung von Verkehrsinfrastrukturen (Straßen und Schienen) sowie Siedlungsbereichen in Oberösterreich, da für diese Bereiche gute bzw. konsistente Radarreflektoren zu erwarten sind. Besonderer Fokus liegt dabei auf der Anwendbarkeit von InSAR-Daten im Monitoring von Verkehrsinfrastrukturen in geologisch herausfordernden Schichten wie dem Älteren Schlier. Auf Basis einer Fallstudie im Bereich der Gemeinden Wartberg, Engerwitzdorf und Katsdorf sowie der angrenzenden A7 (Mühlkreis-Autobahn) sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- 1.) Sind InSAR-Auswertungen geeignet um Bewegungsschwerpunkte (Hotspots) in den Siedlungsgebieten bzw. entlang der Verkehrsinfrastrukturen der AOI (area of interest) zu identifizieren?
- 2.) Wie präzise können Übergangsbereiche zwischen bewegtem und unbewegtem Terrain mittels InSAR detektiert werden?
- 3.) Können die InSAR-Messungen durch In-situ-Messungen (Inklinometer-Messungen) validiert werden?
- 4.) Wo liegen die Anwendungsgrenzen von InSAR bzw. welche Bereiche können nicht plausibel gemessen werden (inkl. Begründung)?

## 6. Untersuchungsgebiet

### 6.1 Lage der Untersuchungsgebiete

**Untersuchungsgebiet 1** (AOI 1) befindet sich 10-15 km östlich von Linz und erstreckt sich ausgehend vom Südrand der Gemeindegebiete Gallneukirchen und Unterweikersdorf im Nordwesten bis über Engerwitzdorf und Katsdorf nach Südosten und reicht an die westliche Gemeindegrenze von Ried/Riedmark. Es wird am nördlichen Rand von der Mühlkreis-Autobahn (A7) und im Süden vom Ortsgebiet von Katsdorf begrenzt (siehe schwarzes Polygon AOI 1 - Abbildung 1).

Das Untersuchungsgebiet umfasst mit einer Flächenausdehnung von ca. 60 km<sup>2</sup> den zentralen Bereich des Gallneukirchner Beckens sowie eine Ausweitung nach Osten in Richtung der Aistbergesenke.

Das Landschaftsbild des Gallneukirchner Beckens ist durch die Lage in einer weiten Senke und eine sanft gewellte Geländemorphologie geprägt, umrahmt durch die charakteristische Hügellandschaft des unteren Mühlviertels.

Das Gebiet wird sowohl als Siedlungsraum als auch landwirtschaftlich intensiv genutzt. Besonders in der Gemeinde Engerwitzdorf werden durch Drainagen Flächen im Grünland für eine landwirtschaftliche Nutzung oberflächennah entwässert.

Durch das Projektareal verläuft am Nordrand die Autobahntrasse der A7, als übergeordnete Verbindung für den Straßenverkehr, im zentralen Bereich quert eine Bahntrasse das Untersuchungsgebiet.

Die Kleine Gusen aus Richtung Norden (Unterweikersdorf) und die Große Gusen aus Richtung Nordwesten (Gallneukirchen) bilden die Vorflut. Ab dem Zusammenfluss der Großen Gusen mit der Kleinen Gusen in Au bei Engerwitzdorf wird der Fluss bis zu seiner Mündung in die Donau nur mehr Gusen genannt. Das Flusssystem der Gusen ist das bedeutendste Fließgewässer im Untersuchungsgebiet.

Das **Untersuchungsgebiet 2** (AOI 2) befindet sich ca. 25 km östlich von Linz und ca. 6 km nördlich von Perg in den Gemeinden Tragwein und Allerheiligen im Mühlkreis in der sogenannten Kettenbach-Senke, im Bereich des Tagbauareals Kamig und umfasst eine Fläche von ca. 4 km<sup>2</sup> (siehe AOI 2 - Abbildung 1).

Das Gelände wurde durch die Abbautätigkeit anthropogen überprägt.

Der Kettenbach bildet die Vorflut für kleinere Zubringerbäche aus den umliegenden Flächen. Der Kettenbach durchfließt das Untersuchungsgebiet von Ost nach West und mündet als linker Zubringer in die Aist.

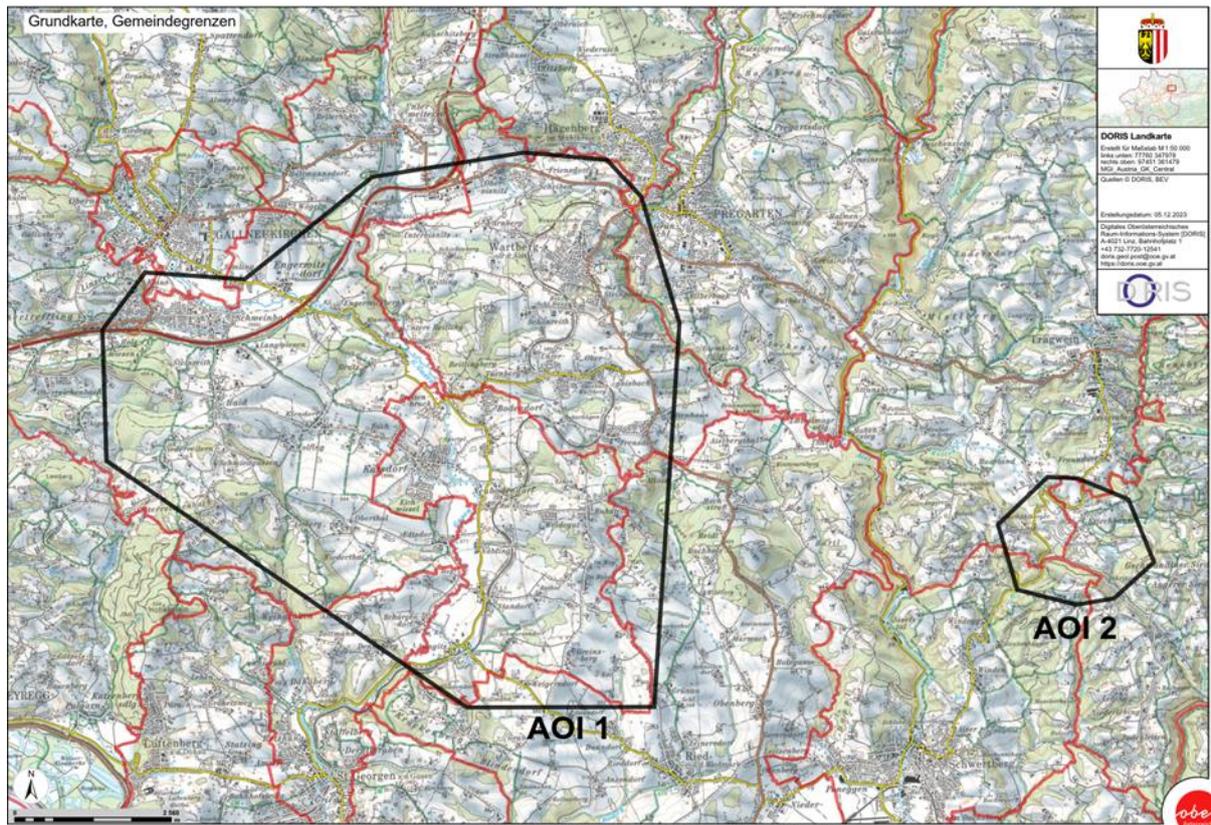


Abbildung 1: Die Untersuchungsgebiete der vorliegenden Potenzialstudie.

## 6.2 Geologie

### 6.2.1 Regionalgeologische Situation

Die beiden Bearbeitungsgebiete AOI 1 und AOI 2 befinden sich am Südrand der Böhmisches Masse. Die kristallinen Gesteine des Böhmisches Massivs tauchen am Südrand allmählich unter die tertiären Molassesedimente ab (Abbildung 2).

Die Böhmisches Masse ist während der variszischen Gebirgsbildung entstanden. Während der variszischen Orogenese sind in mehreren Generationen granitische Schmelzen von gewaltigem Ausmaß eingedrungen und erstarrt. Das magmatische Geschehen nahm einen langen Zeitraum vom Devon bis ins Perm ein.

Nach der variszischen Orogenese begann die Abtragung des Gebirges. Schon bis zum Ende des Paläozoikums, im Perm, dürfte eine vollkommene Einrumpfung stattgefunden haben. Durch die im Laufe von Jahrtausenden anhaltende Erosion des Gebirges wurde ein tiefer, ursprünglich nicht an der Oberfläche sichtbarer Kern des variszischen Gebirges freigelegt.

Das Gesteinsspektrum der Böhmisches Masse umfasst vornehmlich kristalline Gesteine, die durch die Umwandlung (Metamorphose) von Sedimentgesteinen (Paragneise) und erstarrten Gesteinsschmelzen (magmatische Gesteine v.a. saure Granite und Orthogneise) entstanden sind. Während das anstehende Festgestein mit einer Hangschuttbedeckung im steileren Gebieten anzutreffen ist, sind in den flachwelligen Bereichen grusartige Verwitterungsdeckschichten (Flinz) ausgebildet.



## 6.2.2 Geologische Situation im Untersuchungsgebiet AOI 1

Im Gebiet des **Gallneukirchner Beckens** sind Ablagerungen des tertiären Molassemeeres weit in den Kristallinbereich vorgedrungen. Der West- und Südwestrand des Beckens wird durch einen Bruch vorgegeben. Die neogene Beckenfüllung ist, dem kristallinen Relief im Untergrund folgend, asymmetrisch bzw. unregelmäßig über die Grabensenke des Gallneukirchner Beckens verteilt.

Die sedimentäre Ausfüllung des Beckens besteht dabei im Wesentlichen aus Älterem Schlier und den Linzer Sanden.

Oberflächlich nimmt der Ältere Schlier den überwiegenden Teil des Beckens ein, Sande der Linz Formation sind obertags am südlichen Kristallinrand, am Nordrand des Gallneukirchner Beckens verbreitet.

[1] K.Vohryzka, Hydrogeologie von Oberösterreich

Der Ältere Schlier wird zumeist als dunkel- bis schwarzgrauer oder dunkelbrauner, gering feinsandig bis schluffig Tonsedimente oder Tonmergel beschrieben. Es handelt sich dabei um veränderlich feste, wasserempfindliche und gering wasserdurchlässige Molassesedimente. Für Standorte im Bereich von Älterem Schlier kann von einer zumindest latenten Anfälligkeit gegenüber Kriech- und Rutschungsbewegungen ausgegangen werden.

[5] Stichworttabelle zur Geotechnischen Karte von Oberösterreich

Oberflächennah sind zudem jüngere Sedimente aus Schwemmlehm und Deckschichten aus Verwitterungslehm zu erwarten. Im Bereich heutiger Talniederungen kam es weiters zu fluviatilen lehmigen Ablagerungen und Talfüllungen entlang der Gewässer. Anthropogen veranlasste Auffüllungen (Dammschüttungen, Grabenverfüllungen) können die geologische Schichtung kleinräumig über- bzw. umlagern.

Exemplarisch für den Schichtaufbau des Gallneukirchner Beckens wird die bis in den kristallinen Untergrund reichende, 154 m Tiefe Erkundungsbohrung Gall B4/93 herangezogen. Folgende Schichtfolge wurde in der Bohrung in Engerwitzdorf, östlich vom Ortsteil Haid dokumentiert (Tabelle 1):

Tabelle 1: Zusammenfassung der Schicht- und Kopfdaten einer verfügbaren GeoloGIS Bohrung innerhalb AOI 1.

<b>Erkundungs-Bohrung ID: 60455</b>	<b>Bezeichnung: Gall/ B4/93</b>
Rechts /Hochwert: 82060 / 355256; (GK M31)	

von [m]	bis [m]	Beschreibung GeoloGIS	Interpretation (BPS)
0	0,8	Mutterboden	Mutterboden / Verwitterungsdeckschicht
0,8	62	Schluff, Ton, Feinsand	Älterer Schlier
62	86	Grobsand	Linzer Formation
86	98	Grobsand, Ton	
98	143	Schluff, Ton, Pielacher Tegel	Pielacher Tegel?
143	154	Granit	Böhmische Masse

[8] vergl. GeoloGIS Aufschlussdatenbank, DORIS weboffice

### 6.2.3 Geologische Situation im Untersuchungsgebiet AOI 2

In Kriechbaum an der Gemeindegrenze Allerheiligen im Mühlkreis zu Tragwein, befindet sich eine der bedeutendsten Kaolinlagerstätten von Österreich. Die Molassesedimente der sogenannten Kettenbachsenke werden in Kriechbaum, nordöstlich von Schwertberg, durch den Bergbaubetrieb der „Kamig“ direkt aufgeschlossen.

Diese Lagerstätte stellt den Rest einer autochthonen, vermutlich im Alttertiär durch eine In situ gebildete, weitflächig ausgedehnte kaolinisierte Verwitterung des kristallinen Grundgebirges dar, welche, von Lockersedimenten der Molassezone überdeckt und an Bruchlinien (Störungen) eingesenkt, der späteren Erosion entzogen wurde. Im konkreten Fall befindet sich die Lagerstätte Kriechbaum im SO-Abschnitt der Kettenbachsenke im Zwickel einer NW-SO und einer SW-NO-verlaufenden Störung.

Unter dem Begriff Kaolin wird hier die kaolinisierte Verwitterungszone des Granites verstanden, die im Tagbauareal über 10 m mächtig wird.

Überlagert wird das Kaolinvorkommen von Pielacher Tegel, Linzer Sand und Älterem Schlier.

Beim **Pielacher Tegel** aus dem Oligozän handelt es sich um das älteste Schichtglied der Molasse, welches unmittelbar dem kaolinisierten Grundgebirge aufliegt. Dieses ist aus bunten (grüne, blaue, braune und violette), undeutlich geschichteten, sowohl sandig-feinkiesigen Tonen (mit eckigen Feldspat- und Quarzkörnern) als auch stark plastischen Tonen aufgebaut.

**Linzer Sande:** die im Hangenden des Pielacher Tegels anstehenden weißen bis gelblichen, fein- bis grobkörnigen Quarzsande sind stratigraphisch zu den Linzer Sanden bzw. der Linz-Melk-Formation zu stellen.

**Übergang Linzer Sande – Älterer Schlier:** die Übergangsfazies zwischen dem Linzer Sand und dem Älteren Schlier wird in Kriechbaum durch einen ca. 1 m bis max. 3 m mächtigen Grünsandhorizont repräsentiert, ein dunkelgrüngraues, tongebundenes, fein-/mittelsandiges Sediment mit erheblichem Feinkiesanteil.

**Älterer Schlier:** das jüngste aufgeschlossene Schichtglied der Molassezone wird durch den flach nach SW einfallenden Älteren Schlier repräsentiert. Dabei handelt es sich um schichtig-bankige, im trockenen Zustand meist blätterig zerfallende, hell- bis bräunlichgraue bzw. im erdfeuchten Zustand grauschwarze Tone bis Tonmergel aus dem Egerium.

Die aufgeschlossene Mächtigkeit des Älteren Schliers schwankt im Tagebau zwischen etwa 10-15 m (im NW- und S-Abschnitt) und rund 35 m (im SW-Abschnitt); weiter nach Südwesten steigt sie laut den Bohrprofilen auf bis zu über 70 m an. Sowohl aus den Bohrprofilen als auch aus dem Geländebefund zeigt sich, dass die obersten Meter der Schliersedimente lehmig verwittert sind (braune, ± kalkfreie Verwitterungslehmschwarte). Junge Bedeckung (Quartär): lokal zeigen sich im Hangenden der Schliersedimente geringmächtige lehmig-sandig-kiesige Überlagerungshorizonte mit Granit- bzw. „Flinz“-Komponenten aus den südlich vorgelagerten Geländeanstiegen im Kristallin.

[6] Angaben zu Geologie/Lagerstättenkunde für den Tagbau West FRIEDL

### 6.3 Hydrogeologische Situation

Die Granit- und Gneisgesteine des Kristallins der Böhmisches Masse sind nur im Bereich offener Klüfte wasserdurchlässig. Die Wasserführung ist dabei an Trennfugen (und deren Durchlässigkeit) gebunden. Im Betrachtungsraum AOI 1 ist auf Grund Lage in einem Senkungsbecken das kristalline Grundgebirge über weite Flächen mit feinkörnigen, marinen und fluviatilen Sedimenten verfüllt.

Im Raum Schweinbach (Gallneukirchen) – Engerwitzdorf – Gaisbach (Wartberg/A.) bilden die Sande der Linz Formation einen mächtigen, grundwasserführenden Basishorizont, der wiederum von Schichtfolgen des Älteren Schliers überlagert wird. Aus diesem tiefen Sandhorizont wird Trinkwasser für Gallneukirchen und Engerwitzdorf gewonnen.

[1] K.Vohryzka, Hydrogeologie von Oberösterreich

Zum Teil kann unter gering durchlässigen Deckschichten lokal auch gespanntes Grundwasser auftreten. Die Haupt-Strömungsrichtung des Grundwassers ist im Bereich von Untersuchungsgebiet AOI 1 ist nach Süden bis Südwesten gerichtet.

Im Bereich von Untersuchungsgebiet AOI 2 ist kein größeres, relevantes Porengrundwasservorkommen vorhanden. Für anzunehmende, tieferliegende Kluffgrundwässer im kristallinen Festgestein oder für lokale Schichtenwässer sind laut den uns zugänglichen Fachgrundlagen keine Grundwasserschichtenpläne verfügbar.

[8] vergl. diverse Fachkarten, DORIS weboffice

Feinkörnige Ton- und Schluffsedimente werden allgemein als Grundwassergeringleiter bzw. Grundwasserstauer eingestuft, sind allgemein gering durchlässig und reagieren auf Veränderungen des Wassergehalts (veränderlich fest, schrumpfen, quellen). Sofern die feinkorndominierten Sedimente bereits an der Geländeoberfläche anstehen, überwiegt der Oberflächenabfluss gegenüber einer Versickerung.

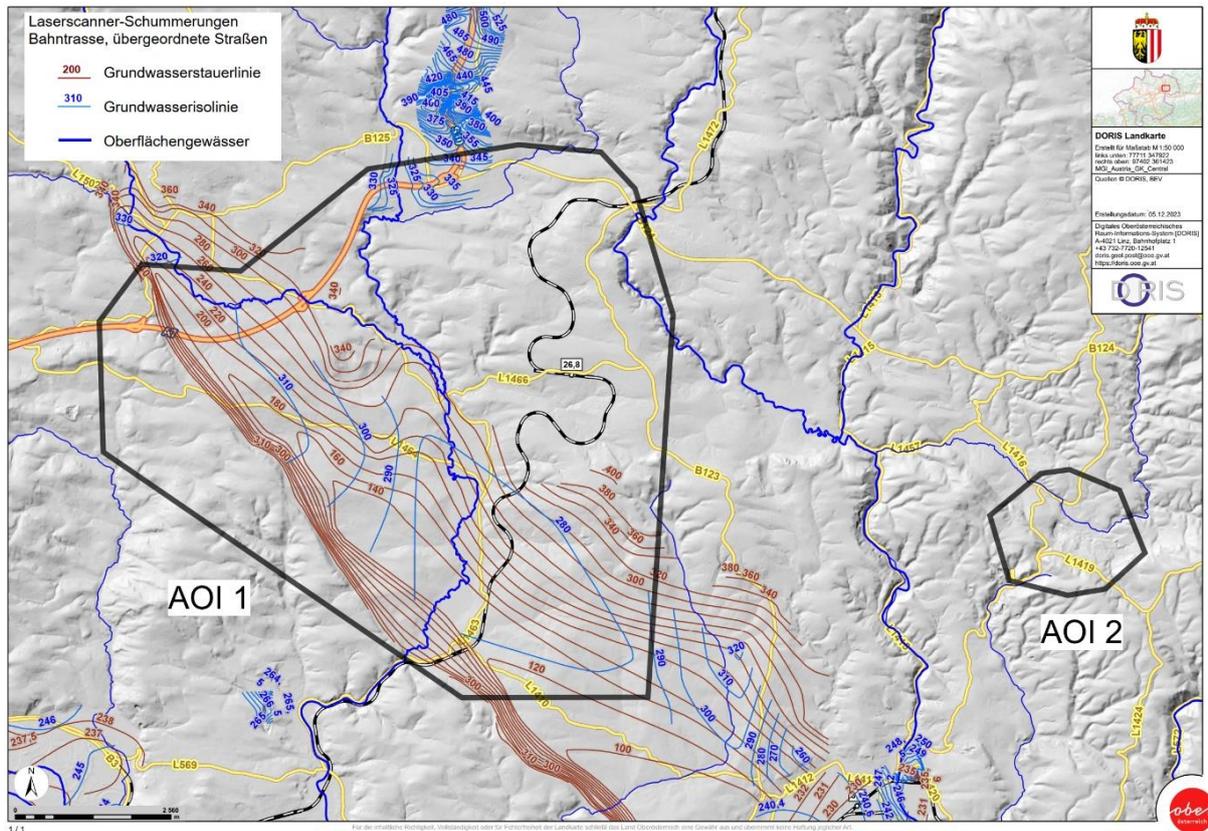


Abbildung 3: Laserscanner-Schummerungen mit Bahntrasse, Straßen, Hauptgewässer, Grundwasserisolinien und Grundwasserstauerlinien.

## 6.4 Gefahrenhinweiskarte Rutschungen, HORA

Die Hora Gefahrenhinweiskarte kann unter anderem als Erstinformation über mögliche Gefährdungen durch Rutschungen dienen.

Rutschungen entstehen häufig aus dem Zusammenwirken unterschiedlicher Einflussfaktoren. Neben Reliefparametern, Vegetation und Ereigniskataster wurde im Zusammenhang mit der Entstehung von Rutschungen als wichtigster Einflussparameter die allgemeine Rutschanfälligkeit der Gesteine berücksichtigt.

Die HORA Gefahrenhinweiskarte „Rutschungen“ setzt sich aus einer Dispositionskarte (dreistufige, flächige Information zur relativen Anfälligkeit der Gesteine zu Rutschungen) und einer Ereigniskarte (dokumentierte Rutschungen) zusammen. Die Karte liefert eine grobmaßstäbliche Erstinformation zur generellen Rutschanfälligkeit des Gesteinsuntergrundes.

Die Karte erlaubt jedoch keine Prognose zu einer konkreten Gefährdung durch eine Rutschung, unabhängig davon, ob in der Karte eine geringe, mittlere oder hohe Anfälligkeit zu Rutschungen ausgewiesen ist.

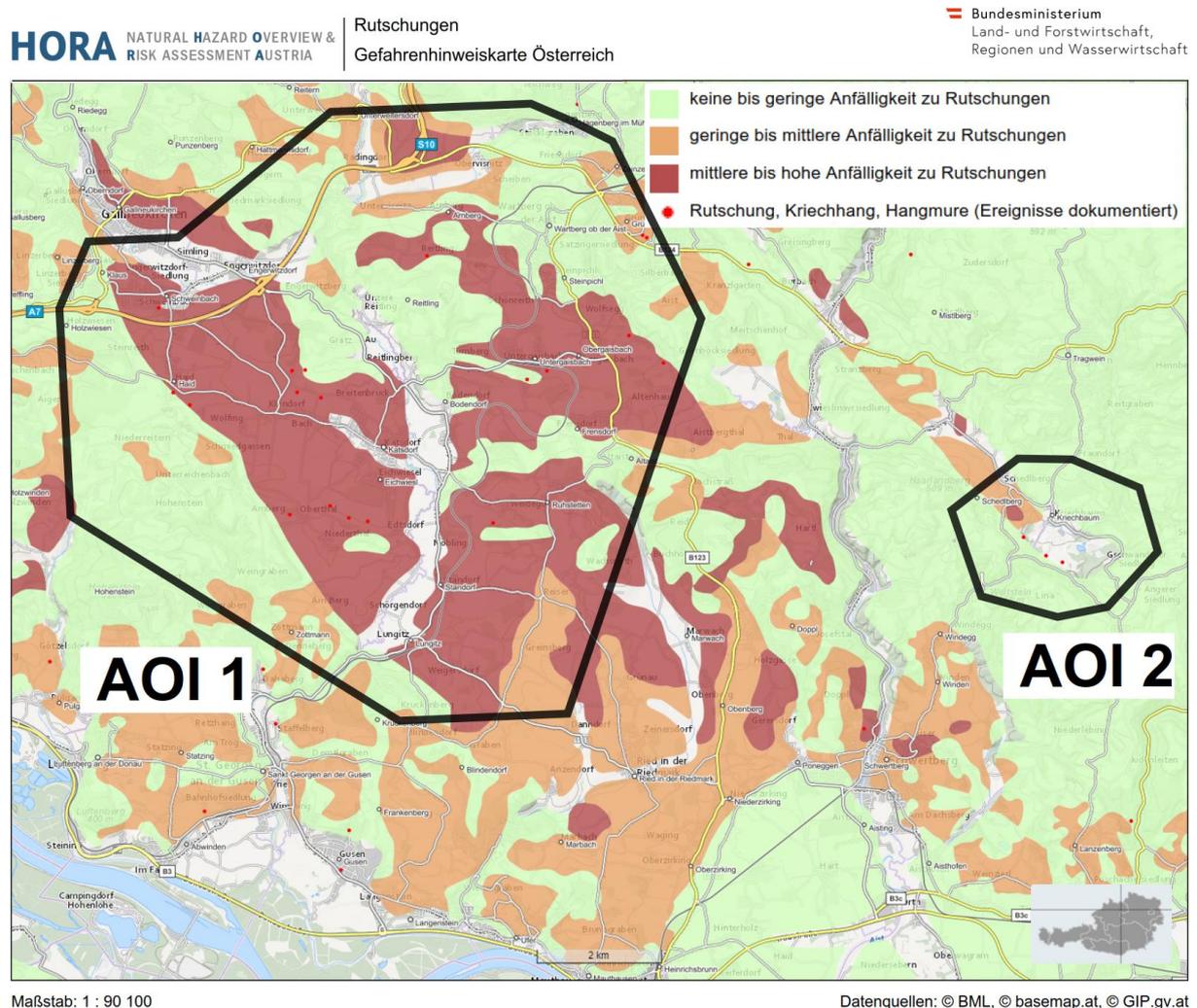


Abbildung 4: Ausschnitt aus der Hora Gefahrenhinweiskarte Rutschungen (M1.200.000).

Es liegen im zentralen Betrachtungsraum AOI 1 auf Grund der geologischen Untergrundverhältnisse über weite Flächen Hinweise auf eine „mittlere bis hohe Anfälligkeit“ auf Rutschungen vor (Abbildung 4). Der Untergrund kann auf Grund der Rutschungsanfälligkeit des Gesteins bei ungünstigen Prozessfaktoren zu Rutschungen neigen. Im Gallneukirchner Becken sind mehr als 15 Rutschungsereignisse dokumentiert.

Als zweite Karteneinheit sind im Betrachtungsraum AOI 1 größere Gebiete eingestuft in „keine bis geringe Anfälligkeit“ gegenüber Rutschungen. Es handelt sich dabei vorwiegend um Bereich mit kristallinem Untergrund.

Im Betrachtungsraum AOI 2 liegen lediglich an der südwestlichen Talflanke Hinweise auf eine „mittlere bis höhere Anfälligkeit“ gegenüber Rutschungen vor. Nicht oder fachlich nur schwer klassifizierbare Karteneinheiten wie z.B. Talböden, anthropogene Ablagerungen, werden der Klasse 0 zugeordnet. Umrahmt wird der Betrachtungsraum von der Einstufungsklasse „keine

bis geringe Anfälligkeit“. An der südwestlichen Talflanke der Kettenbachsenke sind vereinzelte Rutschungsereignisse erfasst.

[9] Gefahrenhinweiskarte Rutschungen der Österreichischen Bundesländer

## 6.5 Gefahrenhinweiskarte Gravitative Massenbewegungen

Mit Veröffentlichung der Broschüre „Bauen auf sicherem Boden“ fand 2015 ein längerer Prozess zur Erhebung geologisch bedingter Gefährdungen, wie Rutschungen oder Steinschläge, einen Abschluss. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden in der Gefahrenhinweiskarte für gravitative Massenbewegungen zusammengeführt und im Digitalen oberösterreichischen Raum-Informationen-System (DORIS) öffentlich zugänglich gemacht. Die Karte bildet in Oberösterreich Hinweise auf Siedlungsbereiche mit erhöhten Anfälligkeit gegenüber gravitativer Massenbewegung ab.

Im Widmungs- und Bauverfahren finden diese Informationen konkrete Verwendung.

Der Hinweiskarte liegt die geologische Karte im Maßstab 1:20.000 zu Grunde. Damit ergeben sich Unschärfen in der Abgrenzung und Detailgenauigkeit. Die Gefahrenhinweiskarte beinhaltet einen Ereigniskataster. Der Beurteilungsraum beschränkt sich auf Bauland und Bauerwartungsland zum Zeitpunkt der Kartenerstellung. Der Beurteilungsraum selbst ist in der digitalen Hinweiskarte als graue Fläche gekennzeichnet.

Nachdem der Beurteilungsraum auf Bauland und Bauerwartungsland beschränkt ist, liegt kein vollflächiger Datensatz vor. Einzel- bzw. Sternchenbauten, alleinstehende Gehöfte, Grünland und Verkehrsflächen sind nicht Teil des Beurteilungsraums. Die Ausweisung der Gefahrenhinweisflächen erfolgte nur innerhalb des definierten Beurteilungsraums.

Hinweisflächen sind auf Basis fachlicher Erhebung und Prüfung der zum Zeitpunkt der Kartenerstellung zur Verfügung stehenden Kenntnisse, unter Berücksichtigung von Vorgaben der Informationsbroschüre „Bauen auf sicherem Boden“ einem Flächentyp (A, A+, B) und einem Hinweisthema zuzuordnen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Unterscheidung der Hinweistypen A, A+, B

<b>Typ A</b>	indirekte Hinweise
Ein Hinweisbereich mit vergleichbaren Eigenschaften wird in der Regel dort als Flächentyp A gekennzeichnet, wo nur indirekte Hinweise aus den Beurteilungsgrundlagen für die Beurteilung herangezogen werden können.	
<b>Typ A+</b>	offensichtliche, direkte Hinweise
Ein Hinweisbereich mit vergleichbaren Eigenschaften wird in der Regel dort als Flächentyp A+ gekennzeichnet, wo offensichtliche Merkmale bzw. direkte Hinweise vorhanden sind.	

**Typ B**

prozessspezifische Kriterien für ein Ereignispotential mit hoher Intensität

Ein Hinweisbereich mit vergleichbaren Eigenschaften wird als widmungskritischer Flächentyp B ausgewiesen, wenn offensichtliche bzw. direkte Merkmale sowie vereinbarte, prozessspezifische Kriterien auf Basis von dokumentierten Merkmalen und/oder historischen Ereignissen (Befragungen, dokumentierte Ereignisse...) eine bestimmte Größenordnung überschreiten.

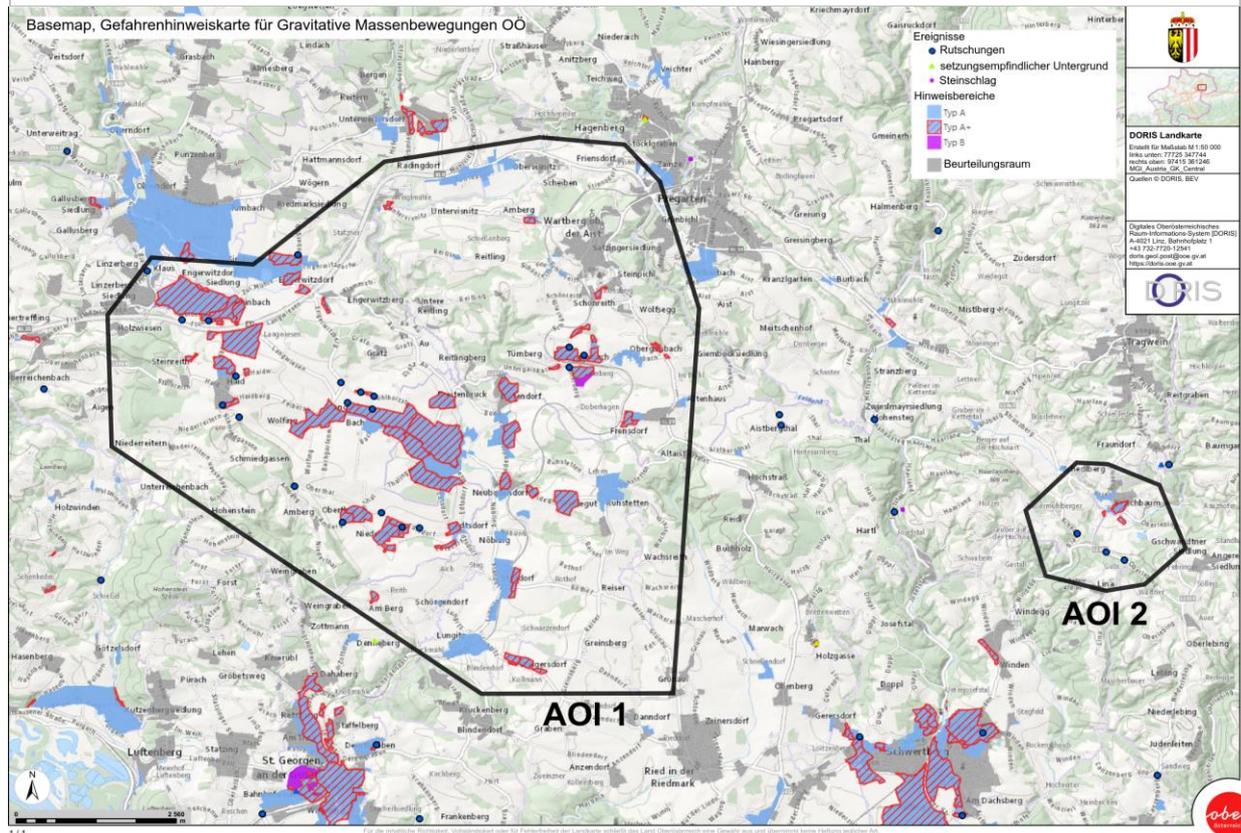


Abbildung 5: Ausschnitt aus der Gefahrenhinweiskarte für gravitative Massenbewegungen.

Da die Entwicklung der Siedlungsräume ein dynamischer Prozess ist, sollte eine Anpassung und lokale Erweiterung des Beurteilungsraumes und der Hinweisflächen immer wieder vorgenommen werden. Auch bei Vorliegen neuer Erkenntnisse über die Untergrundverhältnisse oder bei wesentlichen Änderungen der standortspezifischen Parameter kann eine Neubewertung der Flächenkategorisierung erforderlich sein um die Hinweiskarte aktuell zu halten.

Im Betrachtungsraum AOI 1 ist der Beurteilungsraum zergliedert und beschränkt sich auf zahlreiche kleinere Siedlungsräume. Innerhalb der definierten Beurteilungsräume liegen jedoch überwiegend Hinweisflächen vom Typ A und A+ mit vorherrschenden Hinweisthemen Setzungsempfindlicher Untergrund, Hangrutschung/Gleiten und Feststoffverlagerung am Hang. Das Ortszentrum von Wartberg ob der Aist sowie der Ortsteil Reitling bis Engerwitzberg in Engerwitzdorf befinden sich innerhalb der Beurteilungsraums, es wurden jedoch keine Hinweisflächen ausgewiesen (Abbildung 5).

Auch in dieser Hinweiskarte sind im Betrachtungsraum AOI 1 einige Rutschungsereignisse in einem Ereignistaster dokumentiert.

Im Betrachtungsraum AOI 2 beschränkt sich der Beurteilungsraum auf den Siedlungsraum und Baulandwidmungen im Ortsteil Kriechbaum in der Gemeinde Allerheiligen im Mühlkreis und deckt damit wie bereits im Betrachtungsraum AOI 1 nur ein verhältnismäßig kleines Gebiet im nordöstlichen Betrachtungsraum ab. Innerhalb der definierten Beurteilungsraums liegen entlang der Kettenbachsenke jedoch Hinweisflächen vom Typ A und A+ mit Hinweisthema Setzungsempfindlicher Untergrund vor.

An der südwestlichen Talflanke der Kettenbachsenke sind auch hier wieder vereinzelte Rutschungsereignisse im Ereigniskataster erfasst.

[8] vergl. Fachkarte, DORIS WISmap

## 6.6 Bodenmechanische Eigenschaften des Älteren Schliers

Für orientierende Anhaltspunkte der bodenmechanischen Eigenschaften des Älteren Schliers, wurden im Rahmen einer durch die BPS, im Auftrag des Amtes der OÖ-Landesregierung durchgeführten Untersuchung, 11 Schlierproben entnommen und ihre bodenmechanischen und tonmineralogischen Eigenschaften bestimmt.

Den Ausgang für die Untersuchung (BPS 2018) nahm die allgemein bekannte Anfälligkeit des Älteren Schliers hinsichtlich Kriech- und Rutschungsbewegungen.

Es handelt sich dabei um 5 Proben verschiedener Standorte im Raum Oberösterreich aus dem Älteren Schlier sowie um 6 Proben von Schlier im Allgemeinen. Direkt aus dem Gallneukirchner Becken lagen zwar keine Proben vor, vergleichbare Eigenschaften des Älteren Schliers sind jedoch anzunehmen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Tabellarische Zusammenfassung der Bodenmechanischen Untersuchung

Parameter	Älterer Schlier	Schlier i. Allgemeinen
Wassergehalt	16 – 24% (18%)	14 – 20%
Plastizitätszahl	24 – 35%	17 – 31%
Fließgrenze	50 – 64% (58%)	33 – 52%
<b>Klassifikation ÖN B4400-1</b>	<b>Cl, A / Cl, or (CL, A)</b>	<b>Cl, M / (CL, L   Si, M   CL, A)</b>
Korngrößenanteil Tonfraktion	22 – 47%	11 – 23%
Glühverlust	3,5 – 5,9%	1,3 – 2,4%
Scherwinkel $\varphi'$	23° / <b>19° / 19°</b> / 28° (Ausnahme)	<b>30°/31°</b>
Restscherwinkel $\varphi_r$	12° / <b>5° / 6°</b> / 19,5° (Ausnahme)	<b>27°/29°</b>

- Die Proben aus dem Älteren Schlier wurden aus bodenmechanischer Sicht vorzugsweise als ausgeprägt plastische partiell organische Tone (CL, A bzw. CL, or) beschrieben.
- Der Anteil der Tonminerale in der Fraktion  $< 2 \mu\text{m}$  lag beim Älteren Schlier bei 22-47%
- Der Anteil an Organik beträgt beim Älteren Schlier bis zu 6% und ist nach ÖNORM B 4400-1 als gering organisch (or') einzustufen.
- Calcit-Gehalt fiel beim Älteren Schlier im Vergleich zum Schlier im Allgemeinen geringer aus. Dies dürfte einen Einfluss auf den Reibungswinkel bzw. den Restscherwinkel haben (die Proben mit dem geringsten Calcit-Gehalt wiesen den geringsten Scherwinkel auf).
- Zusätzlich wurde bei der Untersuchung der Fraktion  $< 20 \mu\text{m}$  (Ton+ Feinschluff/Mittelschluff) in den Proben des Älteren Schliers ein höherer Montmorillonitgehalt festgestellt, wodurch auch hier ein zusätzlicher negativer Einfluss auf den Reibungswinkel bzw. den Restscherwinkel abgeleitet wurde.
- Aus den Untersuchungen ergab sich für Proben des Älteren Schliers ein Hinweis auf ein höheres Schrumpfpotential, was infolge Feuchtigkeitsverlust im Boden infolge extremer Trockenperioden einen nachteiligen Einfluss auf die Randbedingungen darstellen könnte.

[7] Bericht BPS, 2018, Bodenmechanische und tonmineralogische Differenzierung von Älterem Schlier und Schlier i.A

## 7. Methodik

### 7.1 InSAR: Funktionsprinzip und Datenquellen

Interferometric Synthetic Radar Aperture (InSAR, dt. Radarinterferometrie) ist eine Methode, bei der mehrere Radargramme miteinander verglichen werden, um die Entfernungsdifferenz zwischen Antenne (Satellit) und Reflektor (Erdoberfläche) zu bestimmen. Eine vereinfachte Darstellung der Methode ist in Abbildung 6 zu finden. Zu erkennen ist, dass nahezu jeder Punkt der Erdoberfläche aus zwei unterschiedlichen Geometrien aufgenommen wird ( $D_{desc}$  und  $D_{asc}$ ). Bei dieser Aufnahme spricht man von der sogenannten Line-of-Sight (LOS) Bewegung. Diese repräsentiert die Verschiebung entlang des Satellitenblickwinkels. Durch die Verschneidung der Aufnahmewinkel können, wenn nötig, die beiden Vektoren  $D_V$  (Vertikalverschiebung) und  $D_{EW}$  (Ost-West Verschiebung) errechnet werden. Die realen Bewegungsvektoren entlang der Geländeoberfläche können über die Morphometrie des Geländes und die Messung der Ascending- und Descending-Verschiebungen mit Millimeter-Genauigkeit modelliert werden.

Der Satellit Sentinel-1 erreicht im besten Fall eine Wiederkehrzeit von 6 Tagen (bzw. 12 Tagen seit 12/2021 – durch Ausfall von Sentinel-1B) und scannt die Erdoberfläche in einer Bodenauflösung von  $5 \times 20$  m ab.

[10] Ferretti, A. et al., 2011, A New Algorithm for Processing Interferometric Data-Stacks: SqueeSAR.

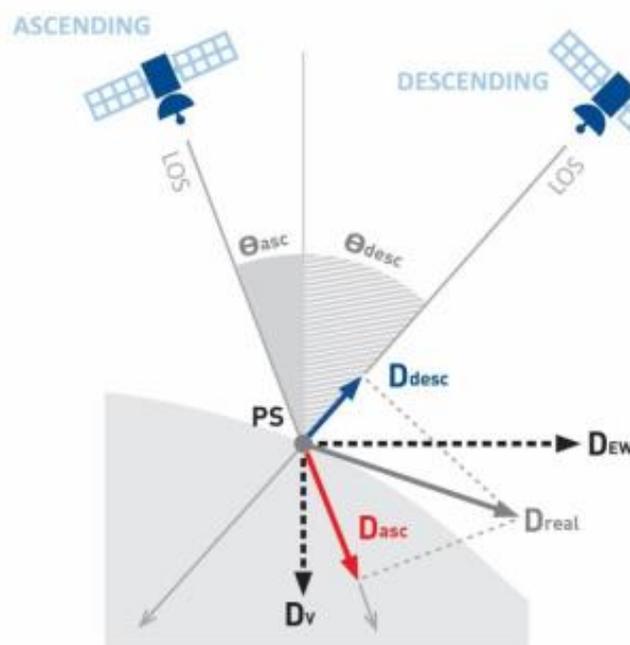


Abbildung 6: Berechnung der InSAR-Bewegungsvektoren.

Im vorliegenden Bericht wurden InSAR-Daten der AUGMENTERRA GmbH und des European Ground Motion Service (EGMS) verwendet. Komplementär wurden In-situ-Messungen (Inklinometer-Vermessungsdaten) herangezogen.

### 7.1.1 InSAR-Daten AUGMENTERRA

Die im ‚AUGMENTERRA-Observer‘ zur Verfügung gestellten Daten basieren auf der Sentinel-1 Plattform und wurden mit dem aktuell besten zur Verfügung stehenden Algorithmus (SqueeSAR) zusammen mit dem Partnerunternehmen TRE-ALTAMIRA prozessiert.

[10] Ferretti, A. et al., 2011, A New Algorithm for Processing Interferometric Data-Stacks: SqueeSAR.

Die Daten aus dem ‚AUGMENTERRA-Observer‘ werden fortlaufend für ganz Österreich aktualisiert (zweimal im Jahr) und umfassen ca. 120 Mio. Messpunkte (Messstandorte inkl. Zeitreihen) und mehrere Millionen Objekte (Bauwerke wie Häuser, Strommasten, Dämme, Straßen, Eisenbahnschienen etc.), der betrachtete Messzeitraum deckt die letzten beiden Jahre ab (ab 2024 drei Jahre). Die Lagegenauigkeit der Messpunkte liegt bei 10 m, topographische Aspekte werden österreichweit mit detaillierten Geländemodellen und atmosphärischen Korrekturen berücksichtigt. Die Messgenauigkeit beträgt für Einzelmessungen 5 mm, bei der Verwendung der Datenreihe (> 30 Messungen) 1-2 mm.

### 7.1.2 InSAR-Daten EGMS

Der European Ground Motion Service (EGMS) wurde als Reaktion auf die im Copernicus-Nutzerforum geäußerten Bedürfnisse der Nutzer geschaffen. Dieses Produkt stellt den neuesten Stand der weltraumgestützten OpenSource-Fernerkundungstechnologie dar und nutzt von Sentinel-1 abgeleitete InSAR-Daten, um Bodenbewegungen in ganz Europa mit einer Messgenauigkeit im Millimeterbereich zu erkennen und zu messen. Das Produkt wird jährlich aktualisiert und kann für eine Vielzahl von Anwendungen genutzt werden, wobei städtische, regionale oder staatliche Behörden im Fokus stehen. Für diese Studie wurden die Daten für den Zeitraum 2018-2022 herangezogen. Die Ergebnisse des EGMS werden für Rasterzellen mit einer Größe von 100\*100 m berechnet und visualisiert.

[11] vergl. EGMS, 2023

## 7.2 Hotspot-Analyse

Die Hotspot-Analyse (Identifizierung von Bewegungsschwerpunkten) basiert auf InSAR-Daten der AUGMENTERRA GmbH sowie des EGMS. Die für den Einsatz auf unterschiedlichen Skalenniveaus entworfenen InSAR-Services wurden dabei ihren jeweiligen Vorzügen entsprechend eingesetzt. Die für großräumige Fragestellungen (kontinentale bis regionale Skale, > 100.000 km<sup>2</sup>) konzipierten EGMS-Auswertungen wurden gemeinsam mit den AUGMENTERRA-Auswertungen (regionale bis lokale Skale < 100.000 km<sup>2</sup>) zunächst für die überblicksmäßige Identifizierung der Hotspots eingesetzt (Kapitel 8.1). Anschließend wurden die räumlich wesentlich höher aufgelösten AUGMENTERRA-Daten für eine kleinräumige Detailanalyse der identifizierten Hotspots herangezogen (Kapitel 8.2).

Beide Datensätze (AUGMENTERRA, EGMS) wurden gleichberechtigt in die Berechnung miteinbezogen. Die InSAR-Daten der AUGMENTERRA GmbH und des EGMS liefern Informationen über die Bewegungsraten (vel) in Millimetern pro Jahr sowie die geografischen Koordinaten (lat für die Y-Koordinate, lon für die X-Koordinate) jedes Messpixels. Die Messpunkte im Bereich von Häusern wurden mit einem 5-Meter-Buffer extrahiert, während Straßen und Schienen jeweils mit einem 50-Meter-Buffer berücksichtigt wurden.

Aufgrund der räumlichen Variation der Datendichte wurden die Punkte zunächst auf ein Gitter umgerechnet, wobei der Gitterabstand bei etwa  $0,00005^\circ$  (ungefähr 5 m) lag. Die Zuordnung der Bewegungsraten zu den Gitterknoten erfolgte über den nächsten Nachbarn, sofern dieser weniger als  $0,0001^\circ$  (ungefähr 10 m) entfernt war. Falls kein nächster Nachbar vorhanden war, wurde der Wert auf 0 gesetzt.

Die eigentliche Hotspot-Analyse wurde in MATLAB implementiert, wobei Geodensityplots („Heatmaps“) erstellt wurden. Die Vorteile dieser Methode liegen in ihrer Fähigkeit, Bewegungsmuster räumlich genau zu visualisieren und Hotspots hervorzuheben. Die Gewichtung nach Bewegungsraten ermöglicht eine präzise Darstellung der relativen Intensität von Bodenbewegungen an verschiedenen Standorten. MATLAB bietet zudem eine effiziente und flexible Plattform für die Datenverarbeitung und Visualisierung, was eine umfassende und aussagekräftige Hotspot-Analyse erlaubt.

### 7.3 Validierung

Die InSAR-Ergebnisse wurden exemplarisch mit Inklinometer-Messungen validiert. Dabei wurden die jährlichen Verschiebungsraten der Inklinometer mit den InSAR-Verschiebungskurven verglichen. Für die Überprüfung der Hotspots wurden zudem komplementäre Daten aus Geologie und Hydrogeologie herangezogen.

### 7.4 Verwendete Tools

Die Datenanalyse wurde mithilfe von spezialisierten Software-Tools wie QGIS, R Studio, und MATLAB durchgeführt, die in der Lage sind, große Datenmengen zu verarbeiten und zu analysieren. Die Datenanalyse umfasste ebenfalls die Erstellung von Zeitreihen und Bewegungskarten, um Veränderungen über die Zeit zu visualisieren und zu quantifizieren.

## 8. Ergebnisse

### 8.1 Hotspot-Überblicksanalyse

Dieses Kapitel beschreibt die durchgeführten Hotspot-Analysen der drei Beobachtungsbereiche Schiene, Straße und Siedlung, basierend auf InSAR-Auswertungen der AUGMENTERRA GmbH und des EGMS (European Ground Motion Service). Die Lage und die räumliche Verteilung der InSAR-Einzelmesspunkte sind in Abbildung 7 visualisiert.

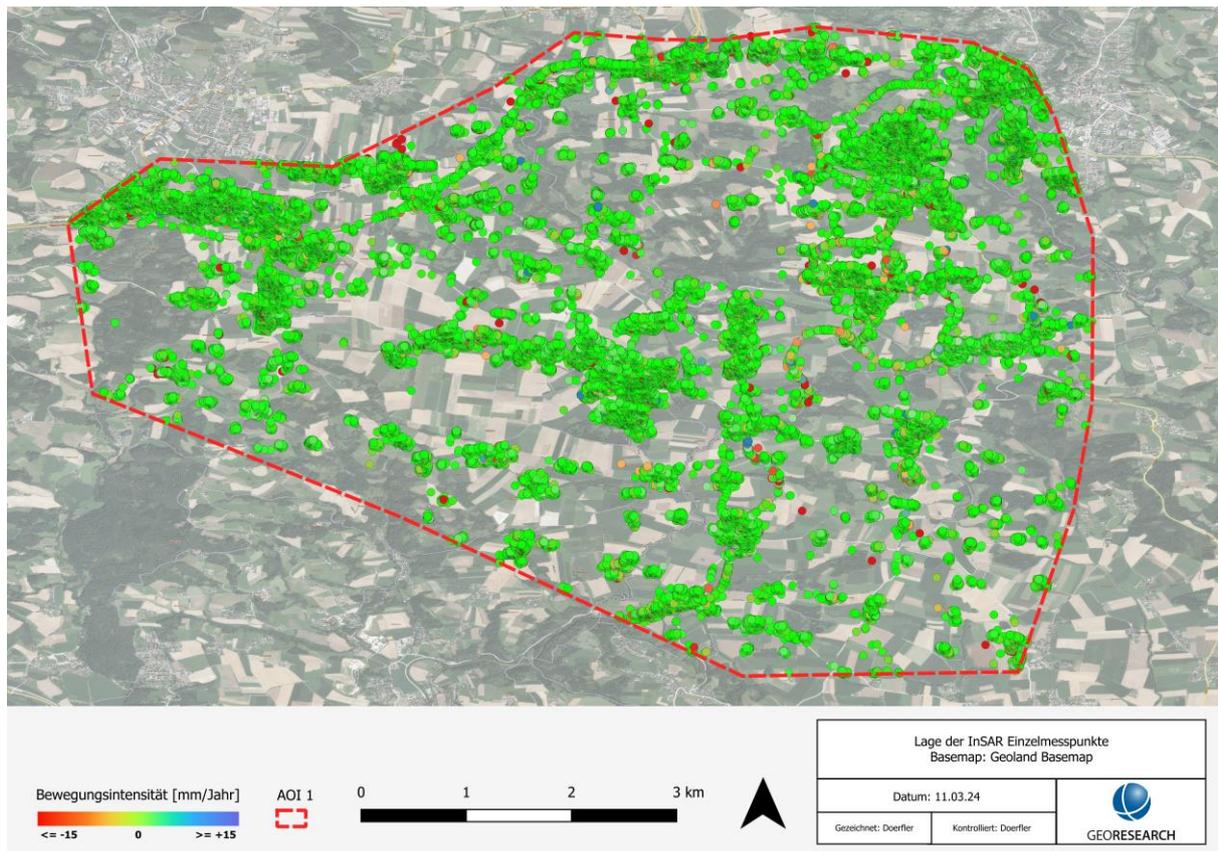


Abbildung 7: Lage und Verteilung der InSAR-Einzelmessungen

Alle folgenden Hotspot-Darstellungen sind mit einer relativen Intensitätsskala von 0 (keine Bewegung) bis 1 (maximale Bewegung) versehen. Die Skala ist dimensionslos, wobei die absoluten Bewegungsraten in Kapitel 8.2 detailliert beschrieben werden.

#### 8.1.1 Eisenbahninfrastruktur

Die in Abbildung 8 dargestellte Hotspot-Analyse der Eisenbahninfrastruktur beruht auf InSAR-Auswertungen der AUGMENTERRA GmbH und zeigt Bewegungsraten von einigen Millimetern bis wenigen Zentimetern pro Jahr. Die höchsten Raten wurden in den beiden Trassenbereichen Gaisbach und Nöbling/Katsdorf identifiziert. In den nördlichen und südlichen Randbereichen des untersuchten Gebietes wurden hingegen nur sehr geringe Bewegungen gemessen.

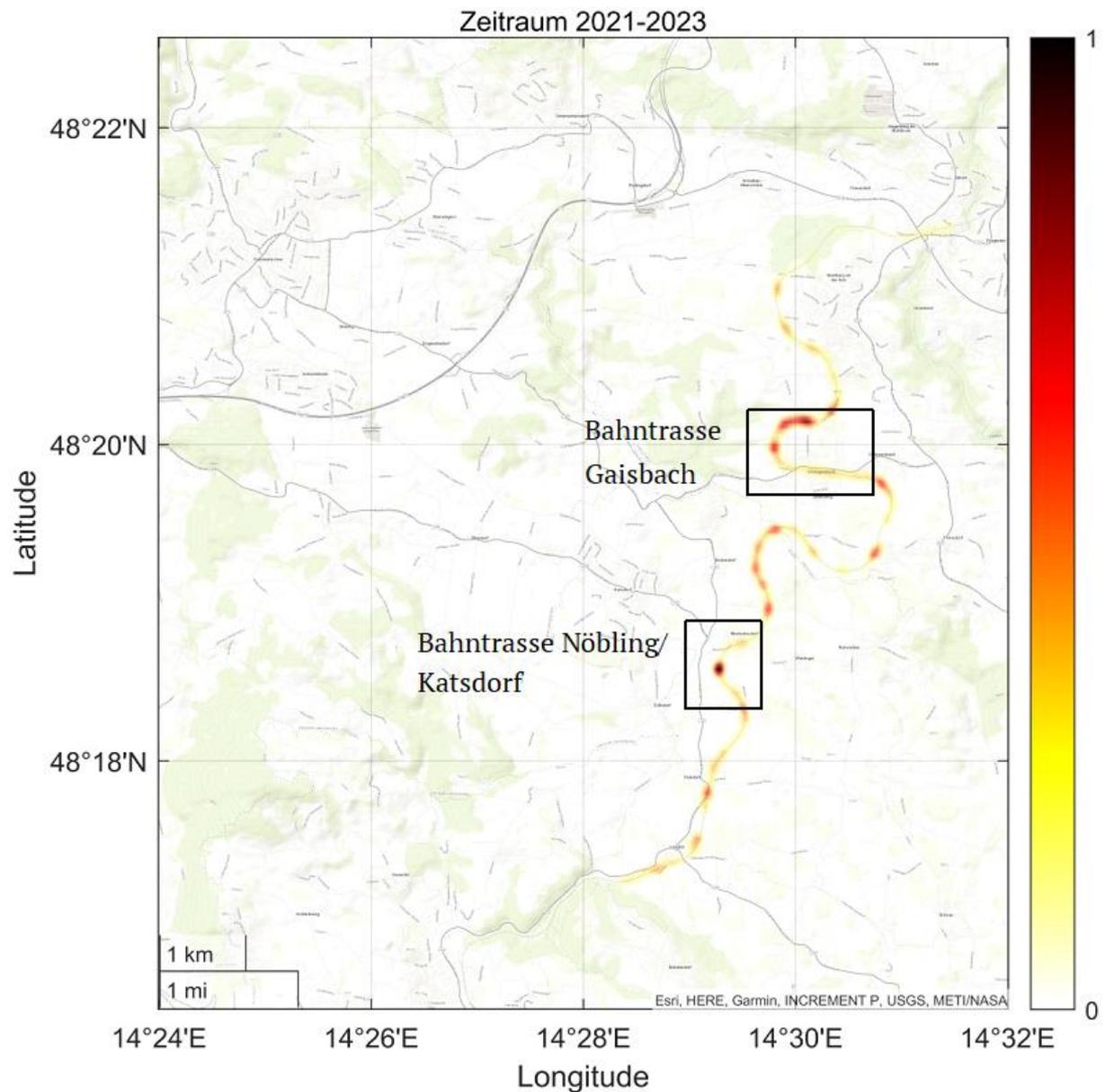


Abbildung 8: InSAR-Analyse (AUGMENTERRA) der Eisenbahninfrastruktur in AOI 1.

Zu Vergleichszwecken wurde die Eisenbahninfrastruktur desselben Untersuchungsgebietes auf Basis der frei verfügbaren EGMS-Daten untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 9 dargestellt und zeigen im Vergleich zu den AUGMENTERRA-Daten eine wesentlich geringere Detailtiefe entlang der Bahntrasse. Das in den AUGMENTERRA-Daten erkennbare Bewegungsmaximum im Trassenbereichen Gaisbach ist auch in den EGMS-Daten klar erkennbar. Analog zu den AUGMENTERRA-Daten sind auch in den EGMS-Daten weitere Aktivitätsbereiche erkennbar, diese sind jedoch schwächer als jene der gewählten Hotspots ausgeprägt.

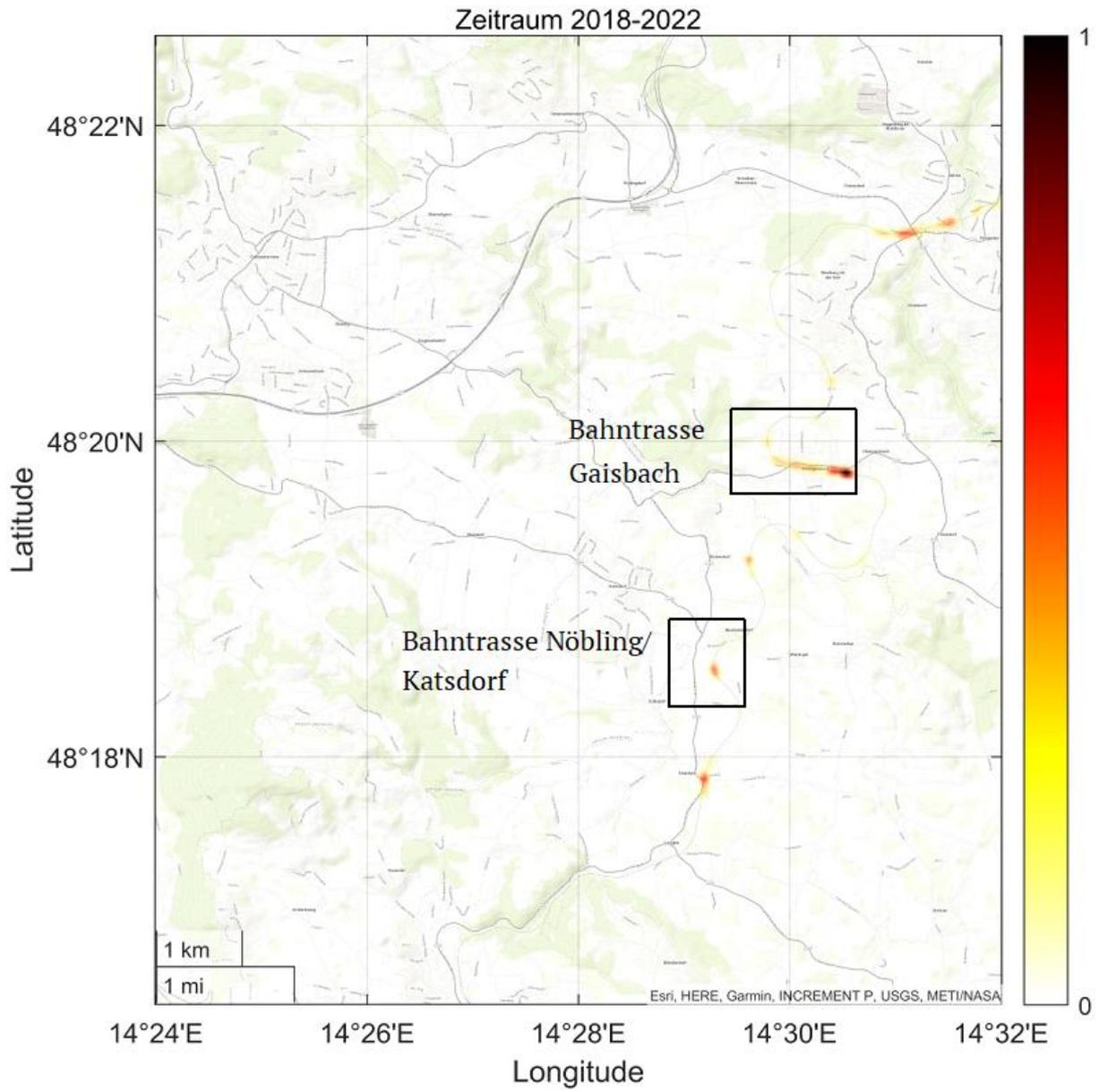


Abbildung 9: InSAR-Analyse (EGMS) der Eisenbahninfrastruktur in AOI 1.

### 8.1.2 Straßenverkehrsnetz

In diesem Kapitel werden die Hotspots im Straßenverkehrsnetz identifiziert, wobei Abbildung 10 auf den Daten der AUGMENTERRA GmbH basiert und Abbildung 11 auf Basis der EGMS-Daten berechnet wurde.

Die AUGMENTERRA-Analysen des Straßenverkehrsnetzes innerhalb von AOI 1 zeigen drei deutlich erkennbare Bewegungsbereiche: (i) A7 entlang von ~km 23,5-24,5, (ii) B124 nahe Obervisnitz und (iii) B123 nahe Obergaisbach-Frensdorf. Diese drei Bereiche werden in Kapitel 8.2 näher erläutert.

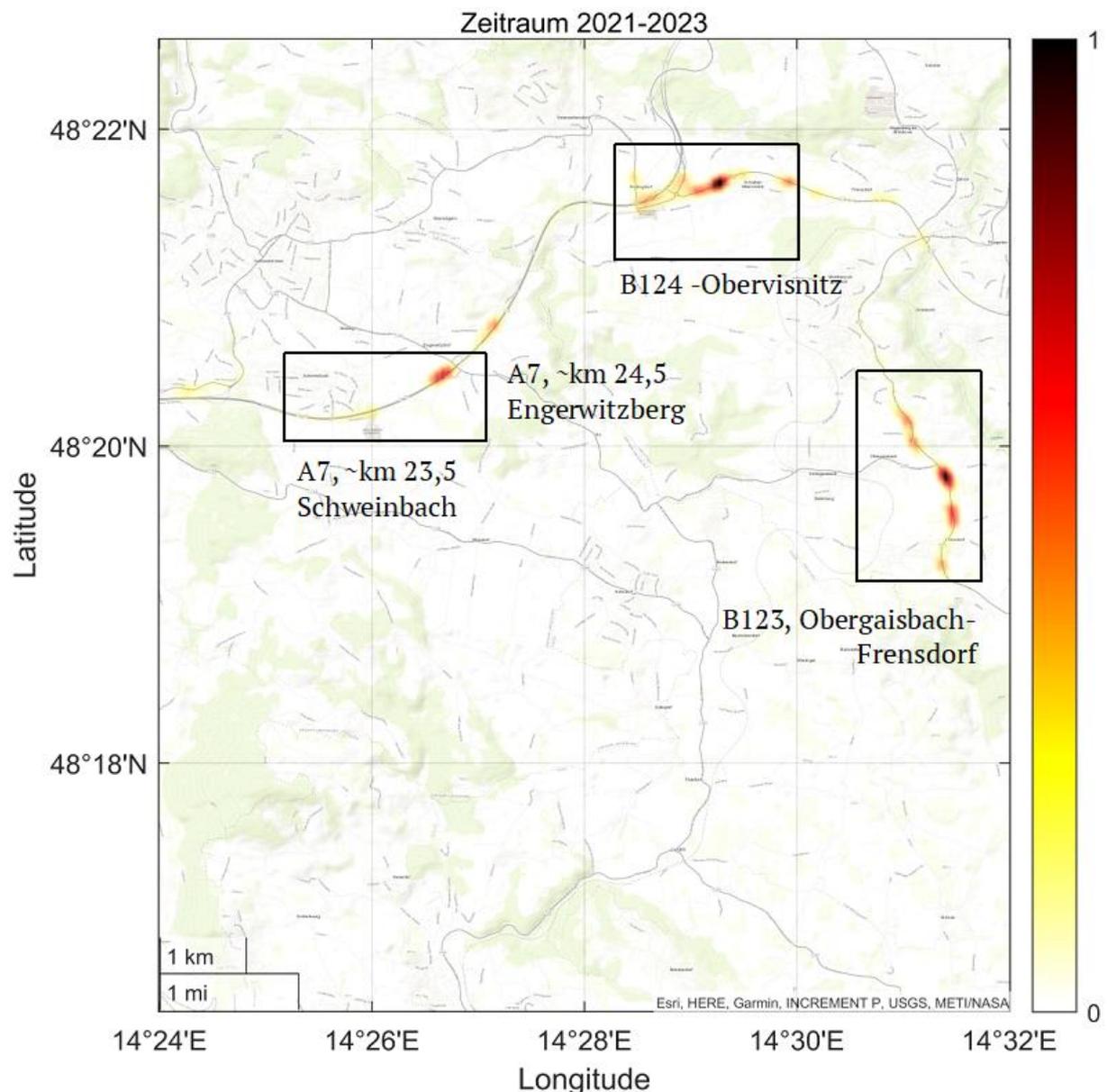


Abbildung 10: InSAR-Analyse (AUGMENTERRA) des Straßenverkehrsnetz in AOI 1.

Auf Basis der EGMS-Daten kann lediglich der Bereich B124 bei Obervisnitz eindeutig als Bewegungsbereich verifiziert werden (Abbildung 11). Die Bereiche entlang der A7 und der B123 kommen in den EGMS-Daten nicht zur Geltung und werden demnach nicht als Hotspots identifiziert. Im Gegenzug zeigen die EGMS-Daten deutliche (zusätzliche) Bewegungsmaxima in den Straßenabschnitten östlich von Obervisnitz und nordwestlich Engerwitzdorf.

Unbedingt beachtet werden muss hierbei, dass der längere EGMS-Betrachtungszeitraum von fünf Jahren (2018-2022) die Gefahr mit sich bringt, dass nicht die geologisch-bedingten Oberflächenveränderungen, sondern die Auswirkungen etwaiger Bautätigkeiten gemessen werden. Zudem ist die Datendichte der EGMS-Daten erheblich geringer, was zu einer größeren räumlichen Ausdehnung der Hotspot-Bereiche führen kann, da Ausreißer statistisch stärker gewichtet werden als bei höherer Messpunktdichte.

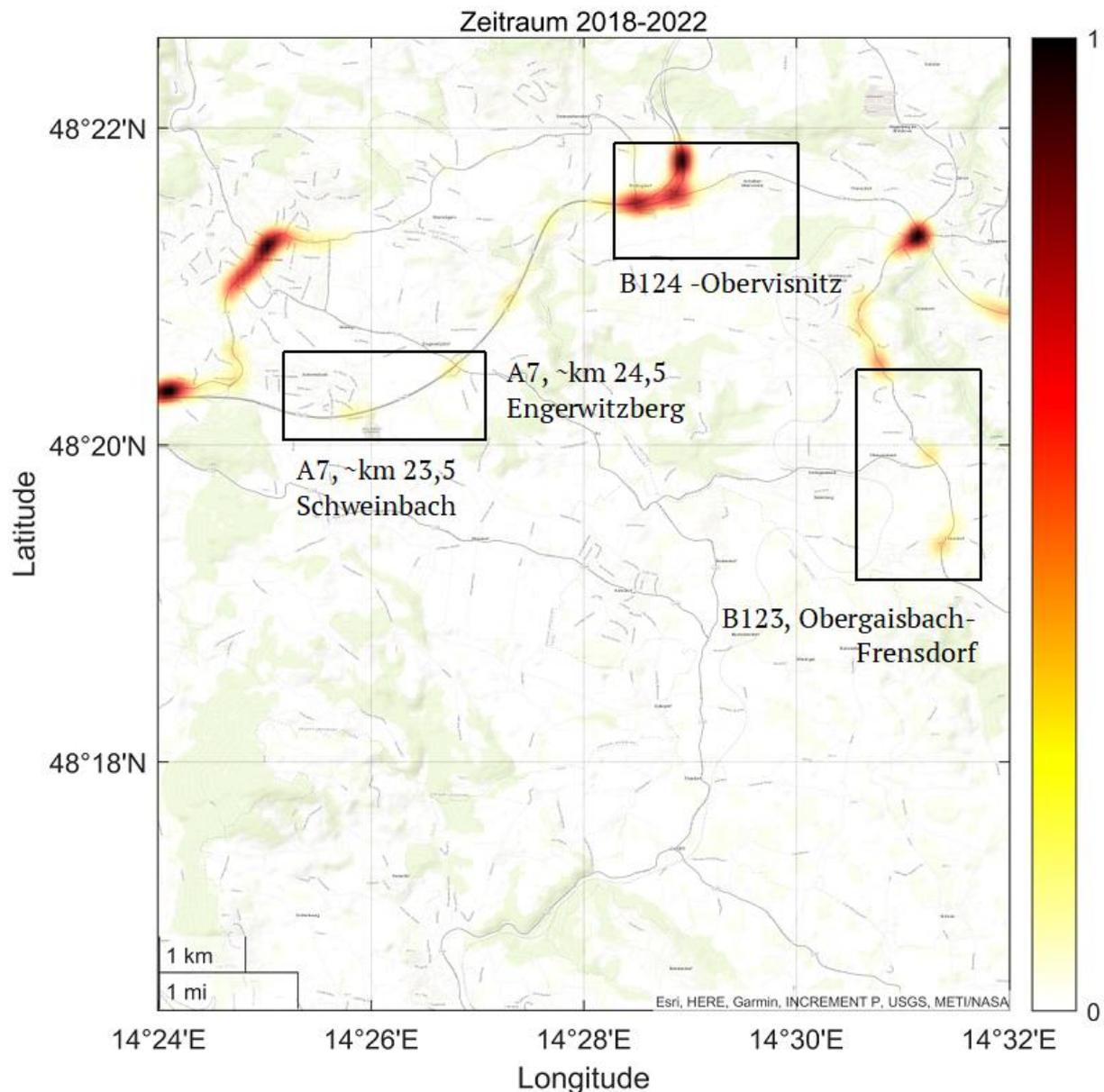


Abbildung 11: InSAR-Analyse (EGMS) des Straßenverkehrsnetz in AOI 1.

### 8.1.3 Siedlungsbereiche

Für die Berechnung der Hotspots in den Siedlungsbereichen wurden die Bewegungsdaten aller Gebäude (inklusive eines Puffers von 5 m) innerhalb von AOI 1 berücksichtigt. Abbildung 12 zeigt die mittels SqueeSAR-Algorithmus ausgewerteten InSAR-Daten der AUGMENTERRA. Die folgenden vier Hotspots sind zu erkennen: (i) Siedlungsbereich Schweinbach-Engerwitzdorf, (ii) Betriebsbaugelände Radingdorf-Obervisnitz, (iii) Siedlungsbereich Untergaisbach-Obergaisbach-Zeilerberg-Frensdorf und (iv) Siedlungsbereich Wolfing/Katsdorf/Bodendorf. Für alle vier Bereiche folgt in Kapitel 8.2 eine detaillierte Analyse.

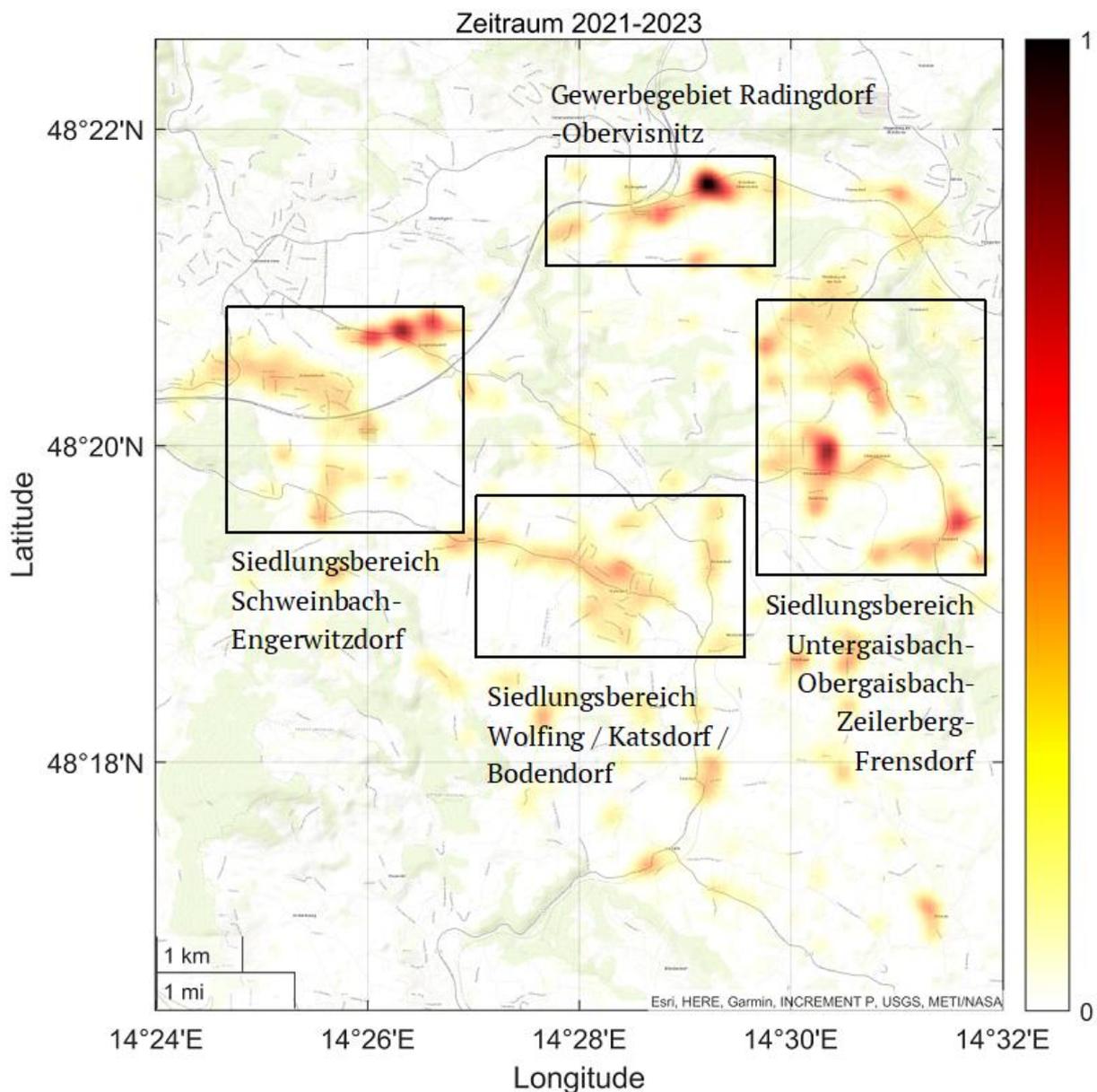


Abbildung 12: InSAR-Analyse (AUGMENTERRA) der Siedlungsbereiche in AOI 1.

So wie in den vorangegangenen Kapiteln wurden für dasselbe Untersuchungsgebiet ebenfalls Auswertungen auf Basis der EGMS-Daten durchgeführt (Abbildung 13). Auch im Fall der Siedlungsgebiete ist ein signifikanter Unterschied im Detailgrad der Ergebnisse festzustellen. Die Bewegungsbereiche sind dabei wesentlich heterogener über AOI 1 verteilt, was an den in Kapitel 8.1.2 beschriebenen Differenzen der Messpunktdichte liegen könnte.

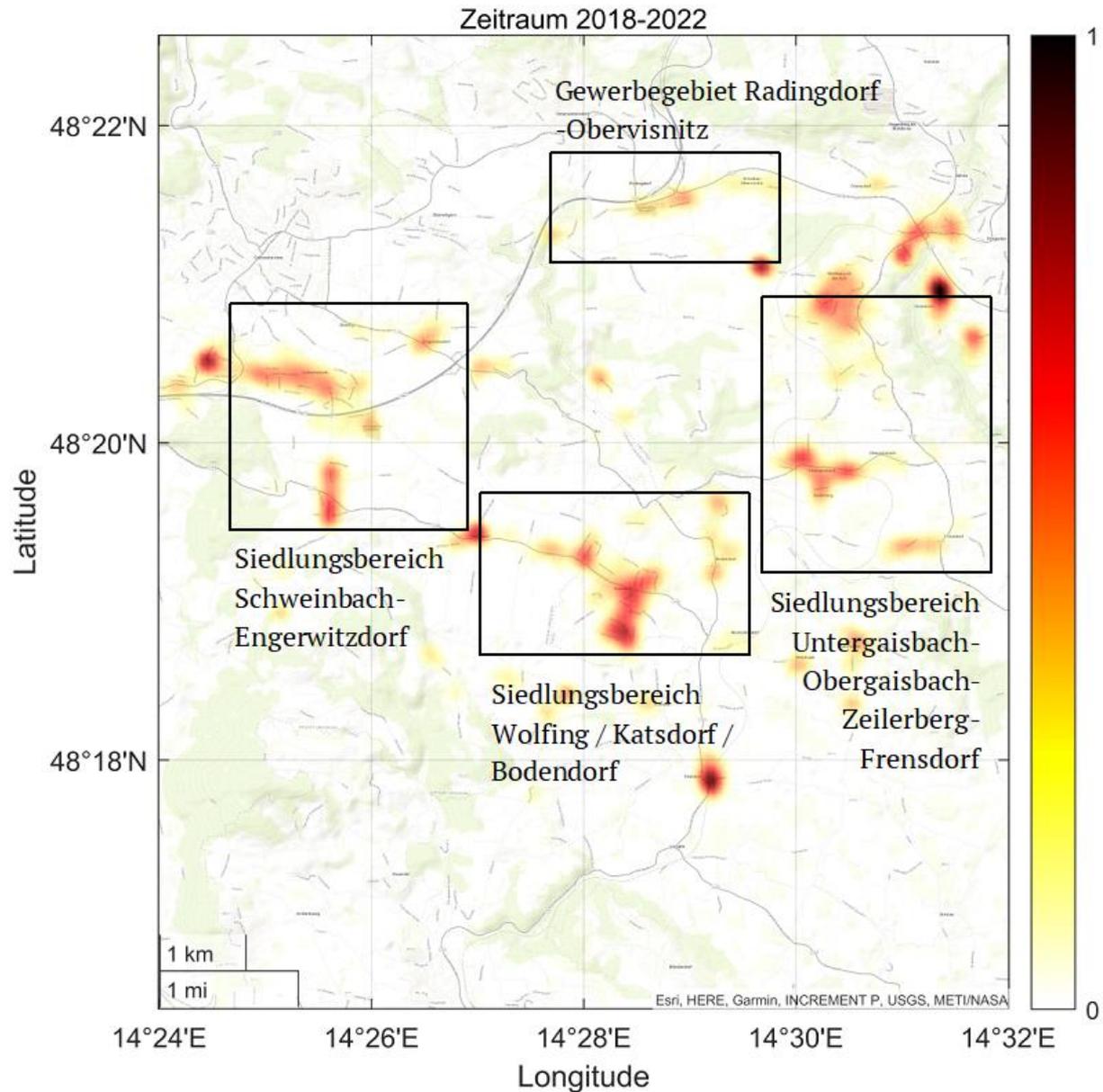


Abbildung 13: InSAR-Analyse (EGMS) der Siedlungsbereiche in AOI 1.

## 8.2 Hotspot-Detailanalyse

Während im vorangegangenen Kapitel die einzelnen Hotspots der Siedlungs-, Straßen- und Schienenbereiche identifiziert und überblicksmäßig (großskalig) visualisiert wurden, werden im folgenden Kapitel die in Abbildung 8 bis Abbildung 13 markierten Hotspot-Bereiche im Detail (kleinskalig) betrachtet. Hierfür werden Detailansichten der Hotspot-Bereiche und repräsentative Verschiebungskurven dargestellt. Basis aller Detailansichten sind aufgrund der höheren Bodenauflösung (5\*20m) und Messpunktdichte die mittels SqueeSAR-Algorithmus berechneten InSAR-Auswertungen der AUGMENTERRA GmbH. Die für großskalige Fragestellungen konzipierten EGMS-Auswertungen werden im aktuellen Kapitel nicht aufgegriffen.

### 8.2.1 Bahntrasse Nöbling/Katsdorf

Im Bereich der Bahntrasse bei Nöbling/Katsdorf können einige aktive Bereiche definiert werden, wobei ein klarer Verschiebungshotspot im westlichen Bereich der Bahntrasse analysierbar ist, welcher nachfolgend näher betrachtet wird.

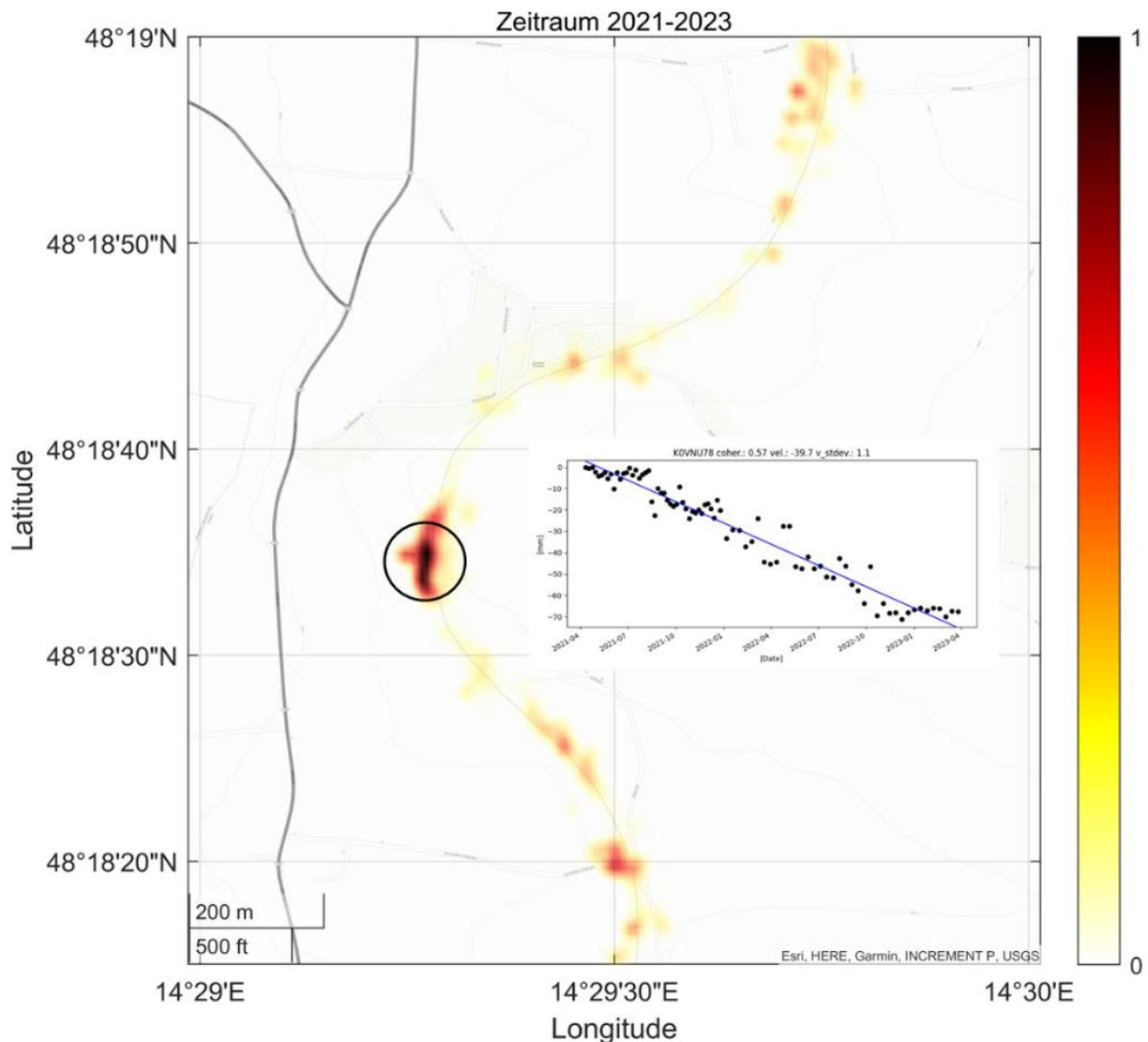


Abbildung 14: Hotspots im Bereich der Bahntrasse Nöbling/Katsdorf.

In Abbildung 14 ist im westlichen Bereich ein markanter Hotspot erkennbar. Für diesen Bereich zeigen die InSAR-Messungen eine maximale Bewegungsrate von 4 cm pro Jahr (Vergleiche Verschiebungskurve). Das Verschiebungsverhalten ist linear, wobei sich für den Zeitraum Jänner 2023 bis Mai 2023 eine Stabilisierung des Bereiches andeutet. Durch die Verschneidung der Daten des Ascending- und des Descending-Modus, als auch der Hangausrichtung, konnte diese Bewegung als vorwiegend horizontale (westwärts) gerichtete Bewegung definiert werden und ist demnach als Hang-, bzw. Böschungsrutschung zu interpretieren.

## 8.2.2 Bahntrasse Gaisbach

Der zweite markante Hotspot befindet sich in der Nähe von Gaisbach entlang der Westschleife der Bahntrasse (Abbildung 15). Vor allem in der Nordhälfte der Schleife sind punktuell hohe Bewegungsraten zu erkennen. Auffällig ist dabei, dass die Hotspots scheinbar nicht am Gleiskörper selbst, sondern in den Dammbereichen links und rechts der Gleise liegen. Die Verschiebungskurven in diesem Bereich zeigen eine Geschwindigkeit von maximal 1,5 cm pro Jahr. Repräsentativ für das Bewegungsmuster der Hotspots ist in Abbildung 15 eine Verschiebungskurve aus dem markierten Bereich dargestellt. Zu erkennen ist zudem ein schwaches saisonales Bewegungsverhalten mit aktiveren Perioden vor allem im Herbst.

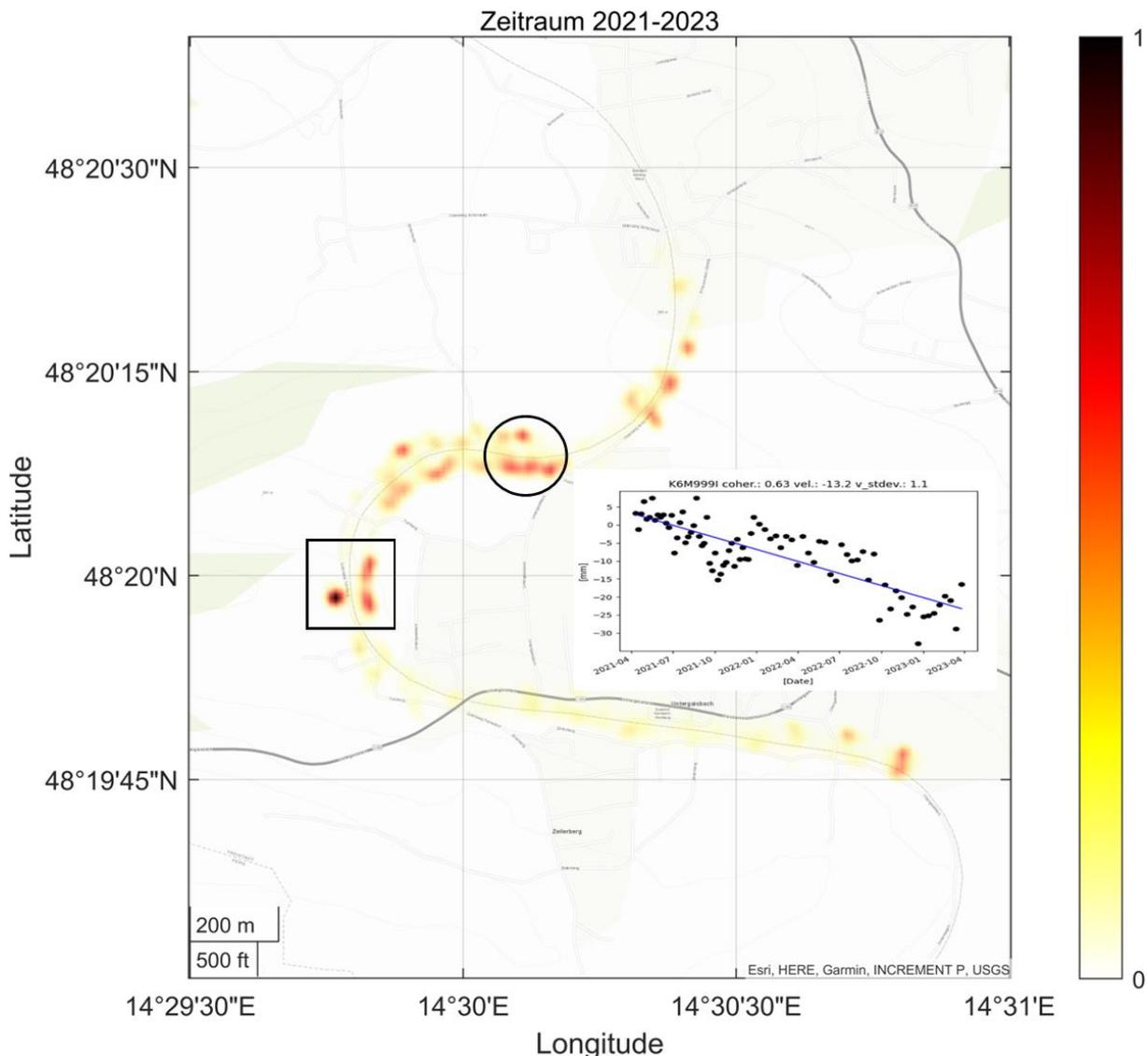


Abbildung 15: Hotspots im Bereich der Bahntrasse Gaisbach.

Recherchen zeigen, dass 2021 in dem mittels Quadrat markierten Bereich (Abbildung 15) Bautätigkeiten stattgefunden haben, welche sich auf die dort gemessenen Bewegungen auswirken könnten.

### 8.2.3 B123 – Obergaisbach-Frensdorf

Die für das Straßenverkehrsnetz durchgeführten Hotspot-Überblicksanalysen demonstrieren zahlreiche aktive Bereiche innerhalb des Untersuchungsgebietes. Einer davon befindet sich an der B123 in der Nähe der Ortschaften Obergaisbach und Frensdorf. Abbildung 16 zeigt eine Detailauswertung dieses Bereichs, wobei mehrere, relativ homogene Bewegungsbereiche identifiziert wurden.

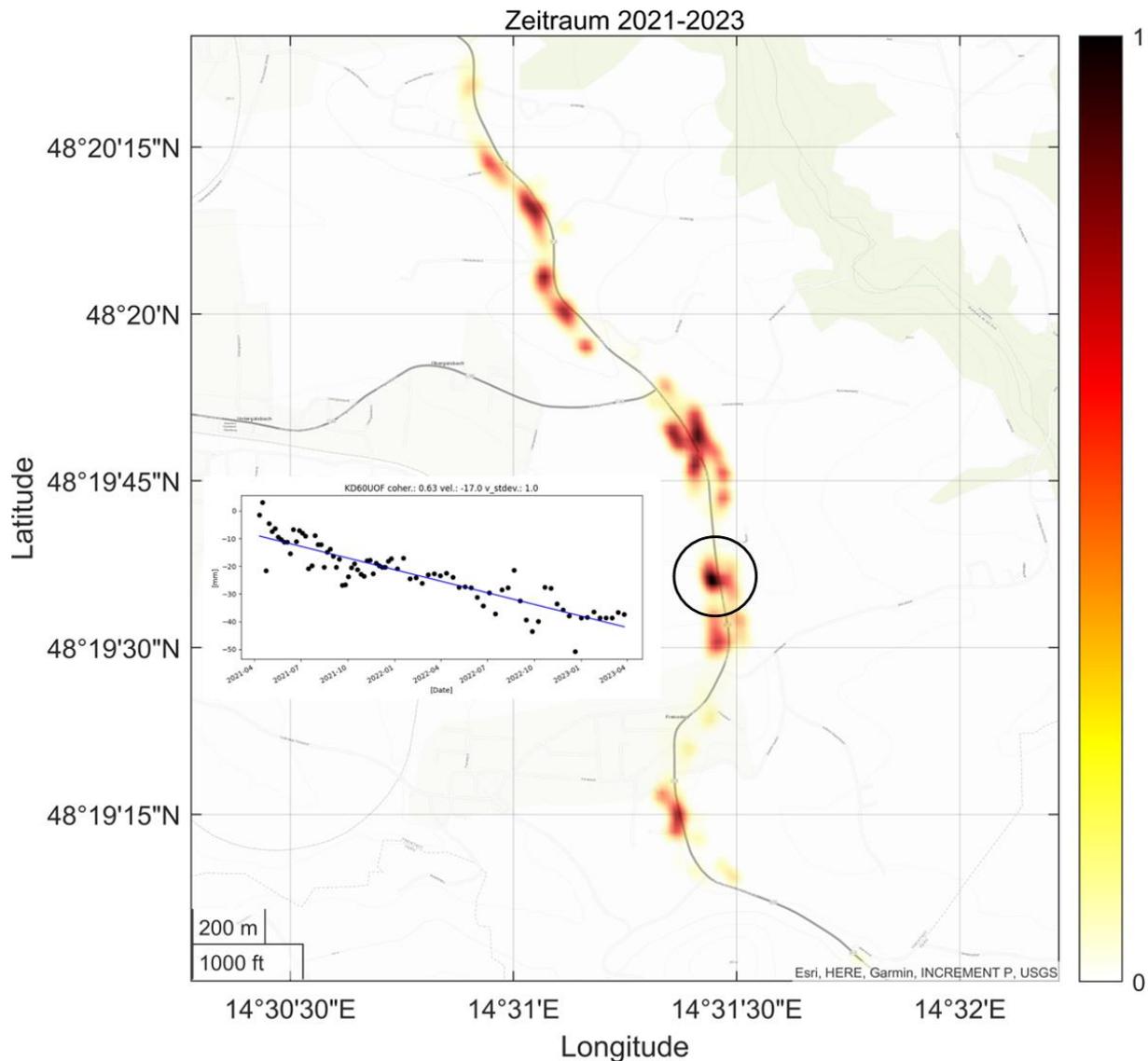


Abbildung 16: InSAR-Hotspots im Bereich der B123, Obergaisbach-Frensdorf.

Repräsentativ für die maximalen Bewegungsraten entlang der B123 in diesem Abschnitt ist in Abbildung 16 eine Verschiebungskurve dargestellt. Die Regressionsanalyse zeigt ein lineares Bewegungsmuster bei einer durchschnittlichen Verschiebungsrates von 1,7 cm pro Jahr. Da in diesem Straßenabschnitt nur sehr geringe Hinneigungen zu detektieren sind, ist von einer Vertikalbewegung (Setzung) auszugehen.

### 8.2.4 B124 – Obervisnitz

Ebenso wie entlang der B123 konnten auch entlang der B124 in der Nähe von Obervisnitz markante Bewegungsbereiche gemessen werden. Abbildung 17 beschreibt die räumliche Verteilung und die Intensität der Bewegung entlang der B124. Vor allem im markierten Bereich (Kreis) sind starke Oberflächenänderungen zu erkennen.

Die maximalen Bewegungsraten liegen in diesem Bereich bei etwa 2,5 cm pro Jahr. Visualisiert ist zudem das mehrjährige Bewegungsverhalten, wobei auch hier ein lineares Bewegungsmuster erkannt werden kann. Im Vergleich zur B123 sind die an der B124 erfassten Bewegungen wesentlich höher, gleichzeitig aber auch kleinräumiger (starke lokale Begrenzung).

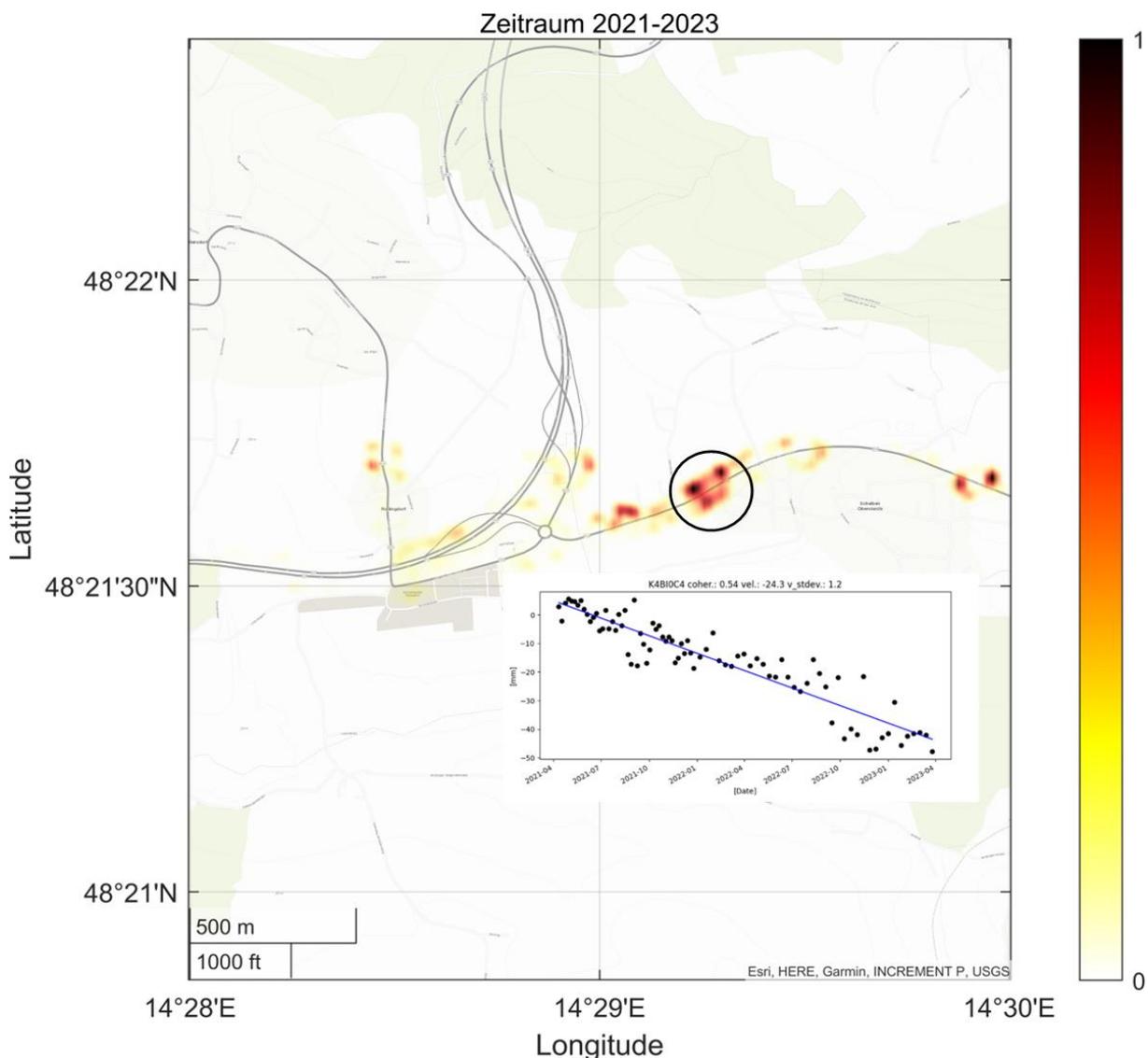


Abbildung 17: InSAR-Hotspots im Bereich der B124 bei Obervisnitz.

Entlang der B124 wurden im Zeitraum der Messungen Bautätigkeiten (Baulos "Umbau Anschlussstelle Unterweikersdorf") durchgeführt. Diese könnten einen Einfluss auf die Messungen in dem Bereich gehabt haben.

### 8.2.5 A7 - ~km 23,5 Schweinbach bis ~km 24,5 Engerwitzberg

Für die Bewegungsmessungen entlang der A7 ist zunächst zu erwähnen, dass die bereits bekannten und in Kapitel 8.4.3 beschriebenen Bewegungen nicht in der Hotspot-Überblicksanalyse sichtbar sind. Dies liegt an der zuvor beschriebenen Problematik der bewaldeten Bereiche, welche mittels InSAR-Auswertungen (Datengrundlage Sentinel-1) nicht erkannt werden können. Es konnten allerdings in der Nähe der Autobahnabfahrt Engerwitzdorf im nördlichen Bereich der A7 einige Bewegungen detektiert werden.

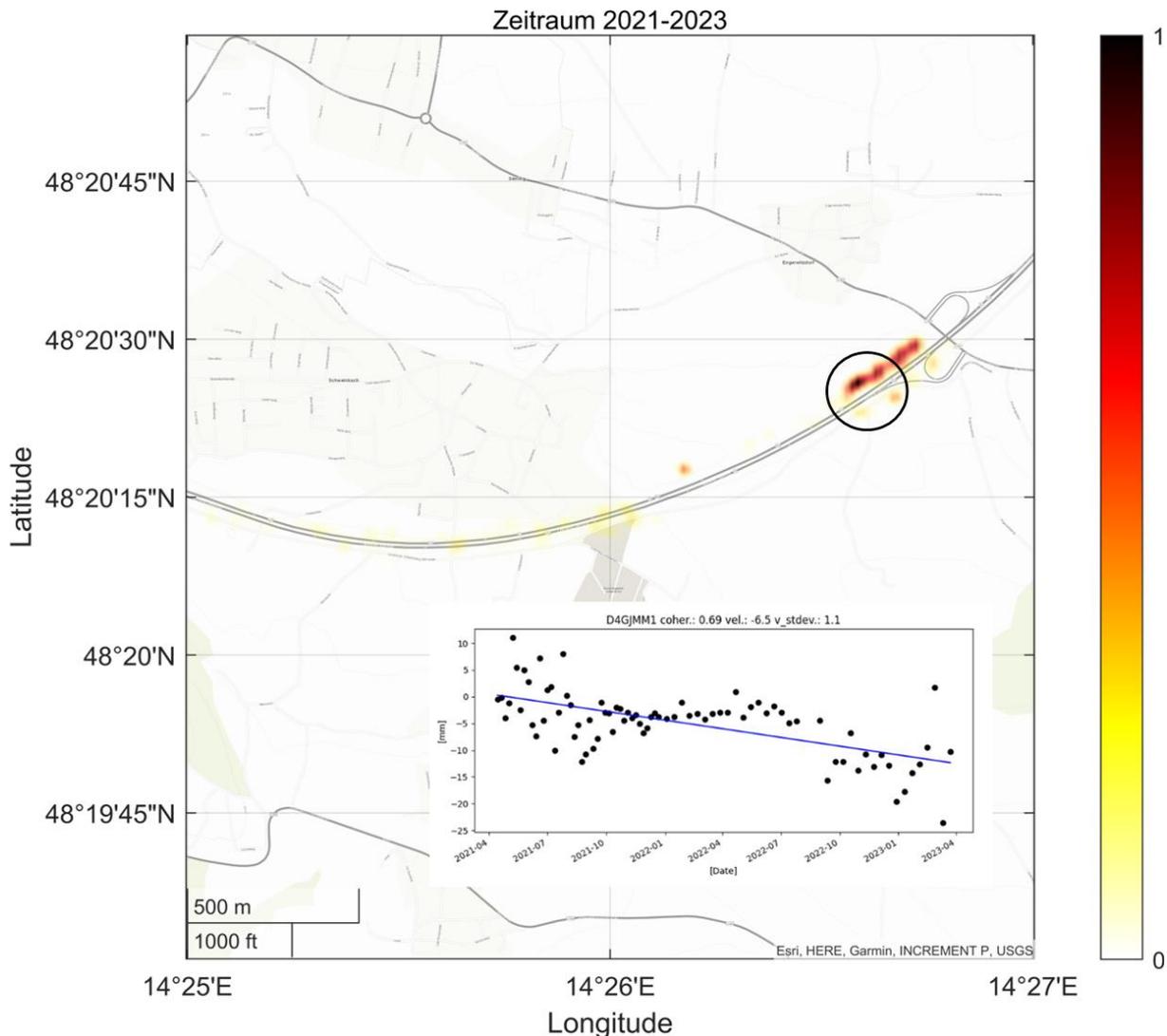


Abbildung 18: InSAR-Hotspots im Bereich der A7, Schweinbach-Engerwitzberg.

Für den in Abbildung 18 markierten Bereich wurde die folgende repräsentative Verschiebungskurve berechnet. Die maximal gemessenen Bewegungen liegen in diesem Bereich der A7 bei etwa 0,7 cm pro Jahr, was in Relation zu den Messungen entlang der B123 und B124 eine relativ geringe Bewegungsrate darstellt. In der Verschiebungskurve ist eine lineare Bewegung mit stärkeren Ausreißern im Jahr 2021 und im Frühjahr 2023 zu erkennen. Diese könnten auf Bautätigkeiten oder ähnliche Störungseinflüsse hindeuten.

## 8.2.6 Gewerbegebiet Radingdorf-Obervisnitz

Nahe der Hotspot-Bereiche entlang der B124 wurden in den Siedlungsbereichen Radingdorf und Obervisnitz einige markante Bewegungsbereiche gemessen. Diese sind in der folgenden Abbildung detailliert visualisiert (Abbildung 19). Während hier einige kleinere, lokale Bewegungsbereiche erkennbar sind, sticht vor allem der markierte Bereich (Kreis) heraus. Die maximalen Bewegungsraten liegen hier bei rund 3 cm pro Jahr. Dieses Verhalten ist konsistent mit den entlang der B124 gemessenen Bewegungsraten (2,5 cm pro Jahr) und folgt einem linearen Muster (siehe Bewegungsverhalten).

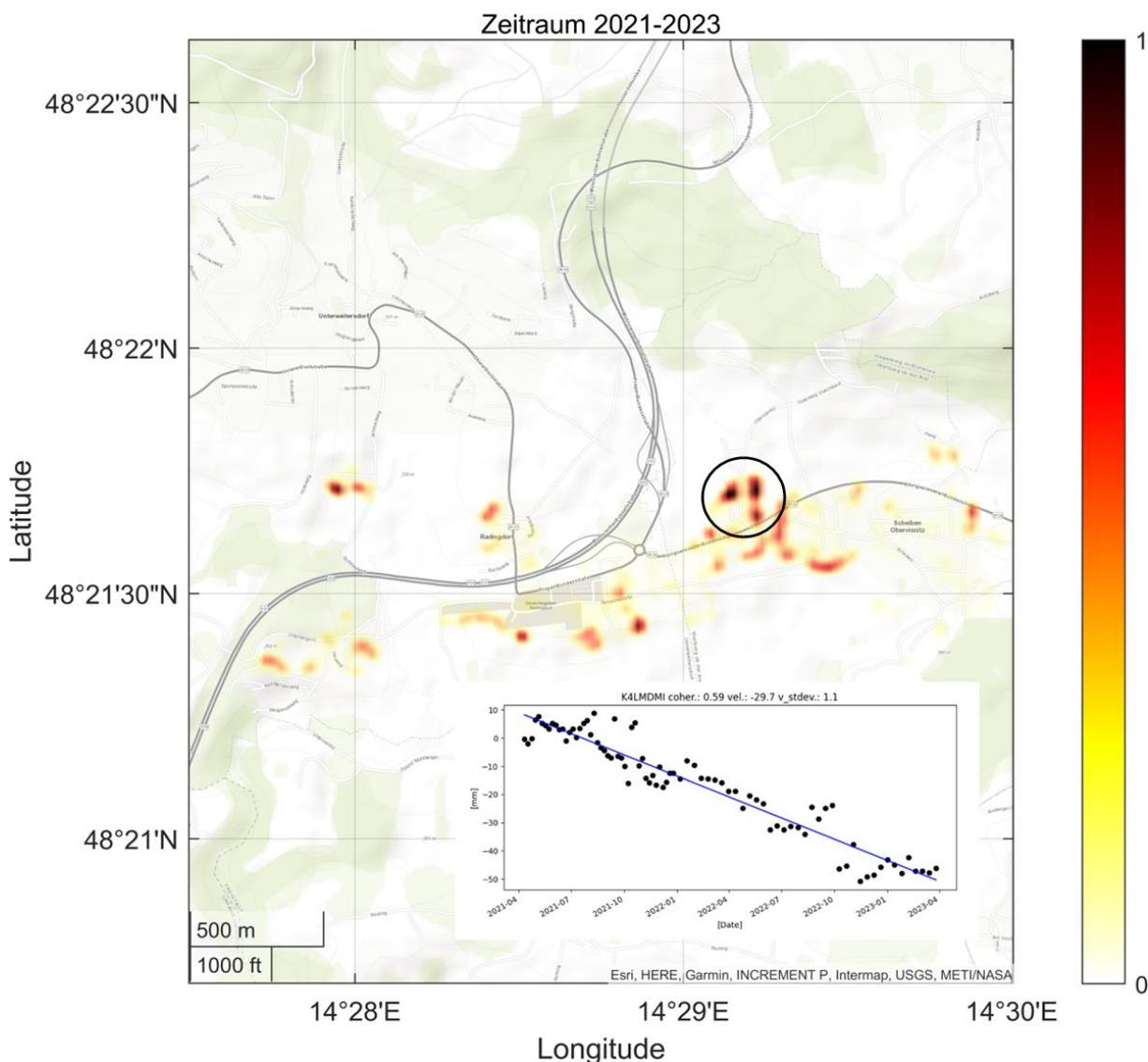


Abbildung 19: InSAR-Hotspots im Bereich des Gewerbegebiets Radingdorf-Obervisnitz.

Um die Bewegungsraten und die Abgrenzung der Bewegungen zu visualisieren, wurde eine Verschneidung der InSAR Messpunkte mit einzelnen Objekten, wie z.B. den Häusern, in diesem Bereich vorgenommen. Lineare Objekte wie die Straßen und Schienen wurden in 100 m Segmente unterteilt. Die durchschnittliche Bewegungsrate pro Einzelobjekt ist in Abbildung 20 erkennbar. Ausfällig ist, dass nicht jedes Objekt in den Hotspot-Bereichen die gleichen Bewegungsraten aufweist. Die Bewegungsmuster sind demnach als heterogen zu beschreiben.

Neben der Objektvisualisierung ist zudem die Hangneigung im Bereich der Objekte erkennbar. Für den Hotspot Radingdorf-Obervisnitz konnten allerdings keine Korrelationen zwischen Hangneigung und Bewegungsrate festgestellt werden (vgl. Abbildung 31). Demnach muss es sich bei den gemessenen Bewegungen in diesem Bereich vorwiegend um vertikale Verschiebungen (Setzungen) handeln.



Abbildung 20: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Bereich des Gewerbegebiets Radingdorf-Obervisnitz.





Abbildung 22: Beschleunigte Bewegungen in dem Siedlungsbereich nördlich des Bahnhofs Gaisbach-Wartberg.

Um eine Interpretation der Bewegungsrichtung durchführen zu können wurden die gemessenen Bewegungen mit der Hangneigung korreliert. Wie in Abbildung 23 erkennbar, sind die Bewegungen der einzelnen Objekte nicht homogen verteilt und korrelieren ebenso nicht mit der Hangneigung. Auch die durchgeführte Regressionsanalyse für diesen Bereich zeigen keine signifikanten Korrelationen (vgl. Abbildung 31). Demnach sind die gemessenen Bewegungen dieses Bereichs als Setzungen zu interpretieren.



Abbildung 23: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Untergaisbach-Obergaisbach-Zeilerberg.

## 8.2.8 Siedlungsbereich Schweinbach-Engerwitzdorf / Haid – Langwiesen

Auch für die Siedlungsbereiche Schweinbach und Engerwitzdorf konnten mehrere Bewegungsbereiche festgestellt werden, wobei der in Abbildung 24 markierte Bereich besonders heraussticht. Mit einer maximalen Bewegungsrate von 1 cm pro Jahr ist die gemessene Bewegung allerdings eher gering. Somit sind auch die gelben und orangen Bewegungsbereiche in der folgenden Abbildung als sehr geringe Veränderungen zu betrachten. Die Regressionsanalyse zeigt ein annähernd lineares Bewegungsverhalten.

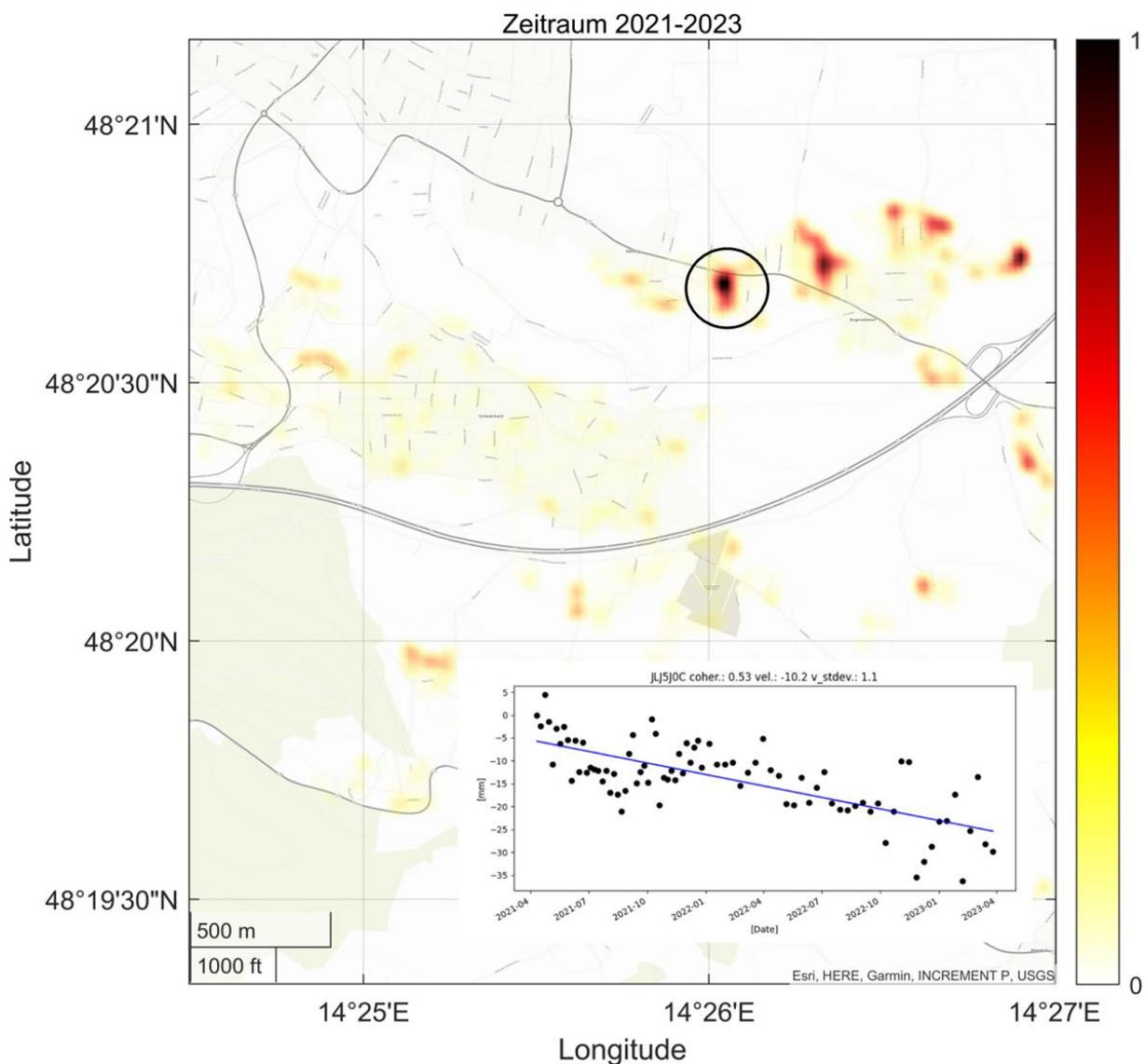


Abbildung 24: InSAR-Hotspots im Siedlungsbereich Schweinbach-Engerwitzdorf.

Für die Siedlungsbereiche Schweinbach und Engerwitzdorf wurden zudem die InSAR Messpunkte den Einzelobjekten zugeordnet. Detailliert können diese Auswertungen in Abbildung 25 und Abbildung 26 betrachtet werden. Jedes einzelne Objekt ist je nach Bewegungsintensität von weiß bis hin zu tiefrot eingefärbt.



Abbildung 25: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Schweinbach.

Es sind in den Siedlungsbereichen Schweinbach und Engerwitzdorf keine flächenhaften Bewegungen zu erkennen. Die Objektdarstellung weist auf einzelne Objekte mit erhöhten Bewegungsraten hin, nicht aber auf Homogenitätsbereiche. Des Weiteren konnte keine signifikante Korrelation zwischen Hangneigung und Bewegungsintensität in diesen Bereichen identifiziert werden. Zu erwähnen ist dennoch, dass der Siedlungsbereich Engerwitzdorf im Vergleich zu den anderen Hotspots die höchsten Korrelationswerte zwischen der Hangneigung und der Bewegungsrate aufwies (vgl. Abbildung 31). Jedoch ist dieser Zusammenhang auch für Engerwitzdorf sehr gering und als nicht signifikant zu beschreiben.



Abbildung 26: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Engerwitzdorf.

In den Siedlungsbereichen Haid und Langwiesen können ebenfalls lokale Bewegungsbereiche bzw. Heterogenitätsbereiche identifiziert werden. Die folgende Abbildung zeigt die mittleren InSAR Messwerte inklusive des Bewegungsverhaltens auf Objektebene (pro Gebäude). Wobei die Farben grün für „nicht signifikante Bewegung“, gelb für „signifikante Bewegung“ und rot für „beschleunigte Bewegung“ stehen (Abbildung 27).

Eines der markantesten Bewegungsmuster in diesem Siedlungsbereich beinhaltet das Gebäude in Güterweg Langwiesen 9, welches folgend inklusive Verschiebungskurve visualisiert ist. Dieses Gebäude erfährt eine mittlere Bewegung von 0,3 cm pro Jahr und basiert auf zehn Einzelmesspunkten.



Abbildung 27: Übersicht InSAR-Messergebnisse im Bereich Haid – Langwiesen auf Gebäudeebene.

## 8.2.9 Wolfing / Katsdorf / Bodendorf

Die Siedlungsbereiche Wolfing, Katsdorf und Bodendorf wurden in Hinblick auf die Bewegungsintensität der Einzelobjekte analysiert. Hierfür wurden alle InSAR-Messpunkte im Bereich der einzelnen Gebäude zu je einem Mittelwert zusammengefasst, welcher folglich dem Objekt zugeordnet wurde.

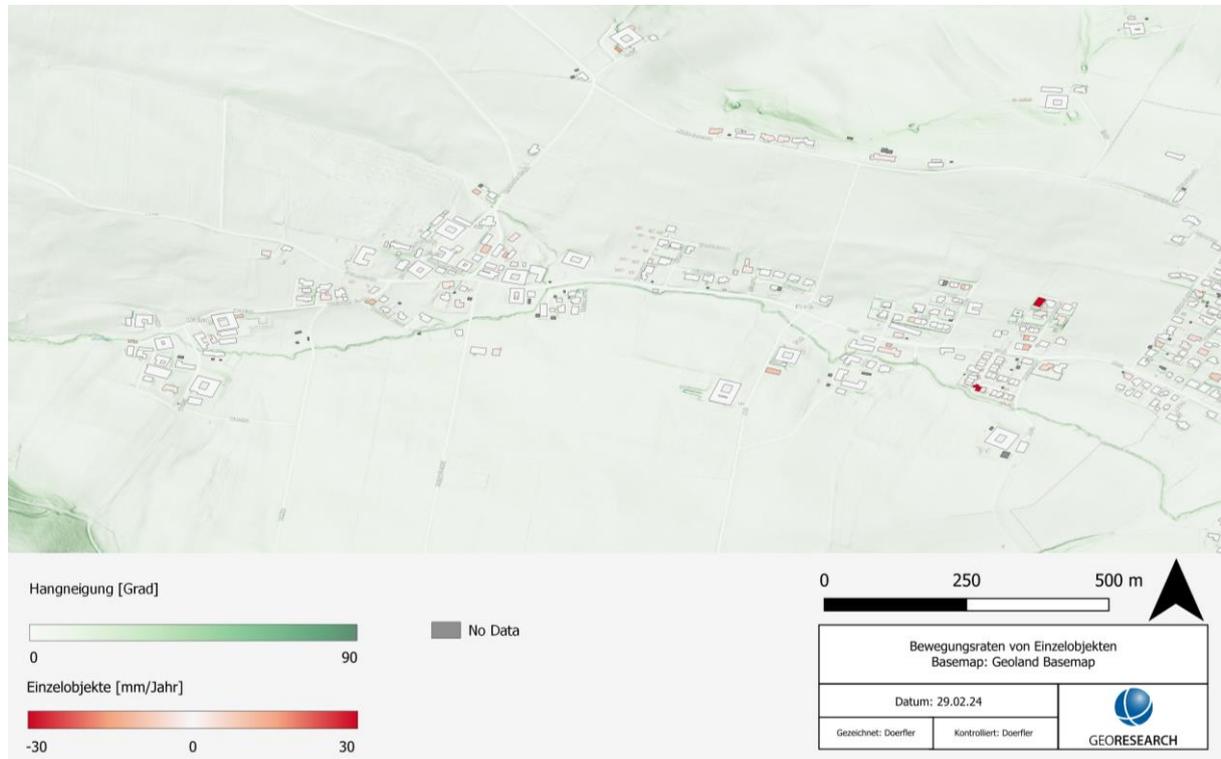


Abbildung 28: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Wolfing.

In Abbildung 28 (Wolfing), Abbildung 29 (Katsdorf) und Abbildung 30 (Bodendorf) sind die Ergebnisse dieser Verschneidung für die drei Siedlungsbereiche visualisiert. In keiner der Siedlungen konnten Homogenitätsbereiche über die InSAR-Daten identifiziert werden. Zudem gibt es auch keine Korrelationen zwischen Hangneigung und Bewegungsintensität. Die gemessenen Bewegungen konzentrieren sich jeweils auf Einzelgebäude. Somit wurden großflächige Hanggleitungen in diesen Bereichen auf Basis der vorliegenden Daten ausgeschlossen. Dies bestätigt auch die für dieses Untersuchungsgebiet durchgeführten Regressionsanalysen in Abbildung 31.

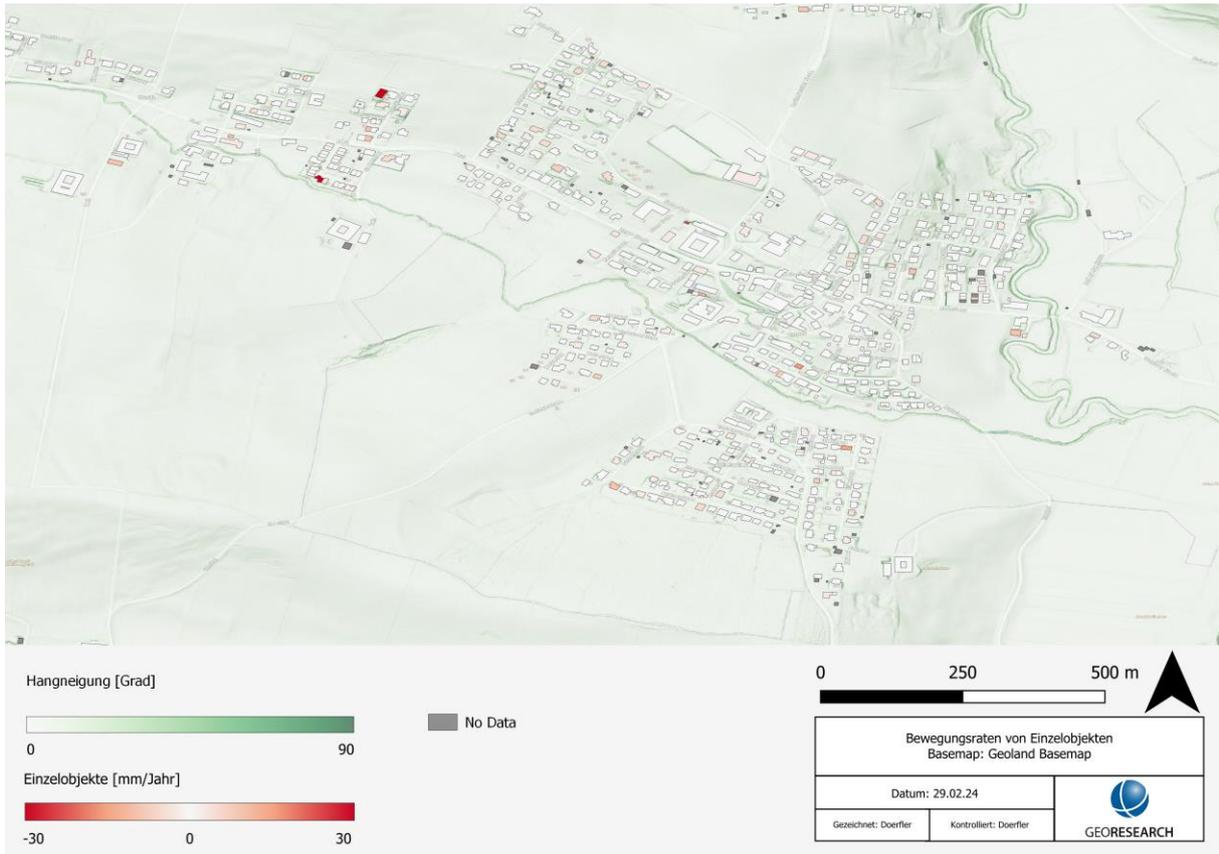


Abbildung 29: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Katsdorf.

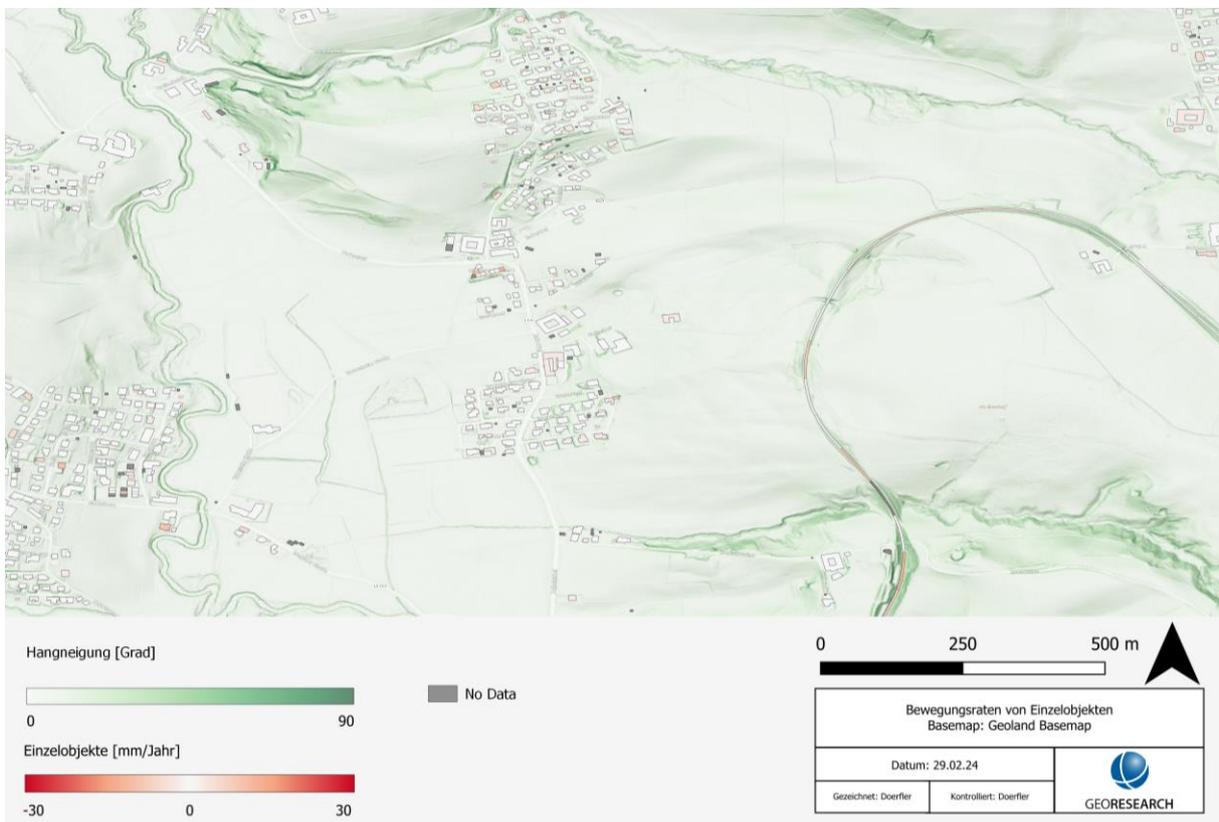


Abbildung 30: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Bodendorf.

### 8.3 Regressionsanalyse

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen Hangneigung und gemessener Bewegungsgeschwindigkeit zu überprüfen, wurde für alle Siedlungsgebiete (5696 Bauwerke) eine Regressionsanalyse durchgeführt (Abbildung 31A-G).

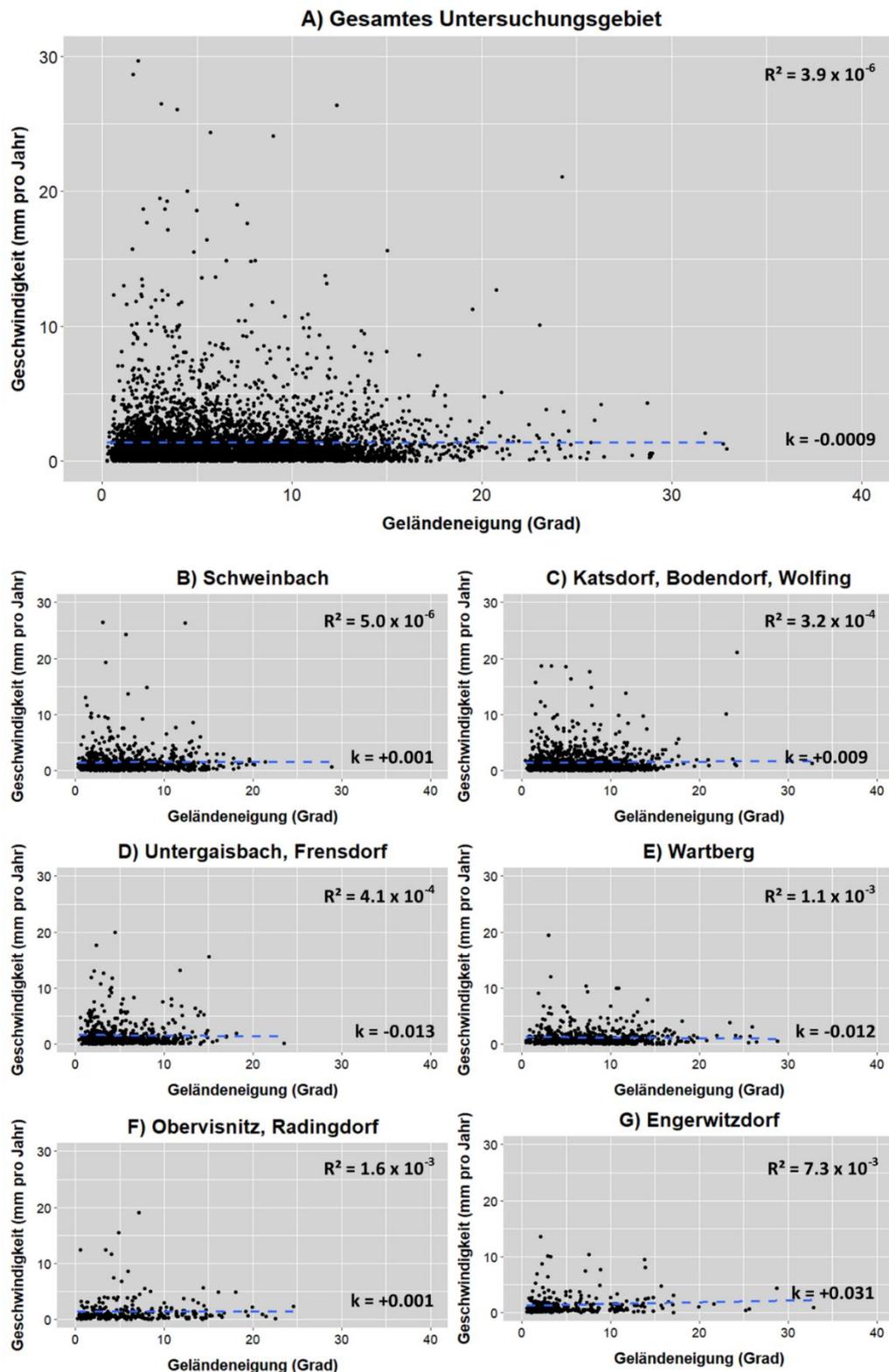


Abbildung 31: Regressionsanalysen zwischen der durchschnittlichen Bewegungsrate pro Jahr und der durchschnittlichen Hangneigung pro Objekt/Gebäude ( $n = 5695$ ).

Abbildung 31A beschreibt den Zusammenhang zwischen Bewegung und Hangneigung der gesamten AOI 1. Abbildung 31B-G zeigt die Detailauswertungen der folgenden Siedlungsgebiete (i) Schweinbach; (ii) Katsdorf, Bodendorf, Wolfing; (iii) Untergaisbach, Frensdorf; (iv) Wartberg; (v) Obervisnitz, Radingdorf und (vi) Engerwitzdorf. Alle Diagramme erhalten zudem den Korrelationskoeffizienten ( $R^2$ ) und den Anstieg der ermittelten Regressionsgeraden ( $k$ ). Die niedrigen Werte zeigen dabei, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen Bewegungsgeschwindigkeit und Hangneigung besteht. Im Siedlungsbereich Engerwitzdorf ist der Anstieg der Regressionsgeraden  $k = 0,031$  am höchsten, was auf einen minimalen Einfluss der Hangneigung auf das Bewegungsverhalten hindeuten könnte.

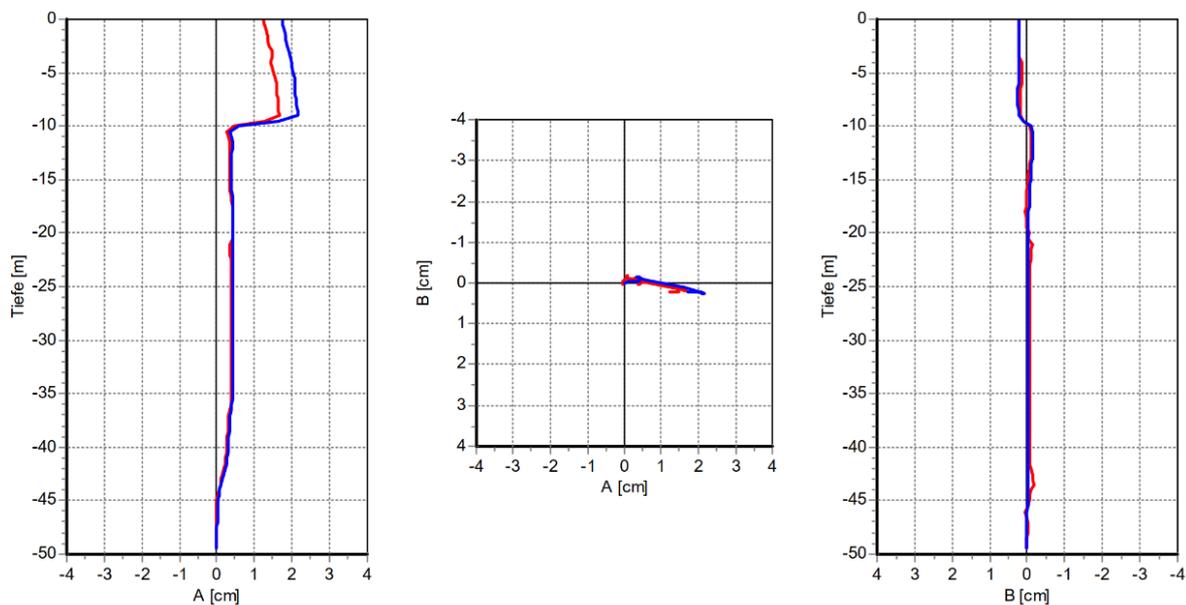
## 8.4 Validierung

### 8.4.1 Tagebau Kamig (AOI 2)

Sowohl die vorliegenden Inklinometer-Daten als auch die InSAR-Daten zeigen für den Bereich der Tragwein-Massenbewegung signifikante Bewegungen. Wobei die Inklinometermessungen (KB01\_23) in Richtung A+ in 55 Tagen einen Versatz von rund 1,8 cm messen. Dies entspricht einer Bewegung von etwa 12 cm pro Jahr, vorausgesetzt die Bewegung ist in ihrer Intensität gleichbleibend über das gesamte Jahr. Im Bereich von KB01\_23 (siehe Abbildung 32) liegen keine InSAR-Messwerte vor, allerdings gibt es in den umliegenden Bereichen einige repräsentative Messergebnisse.

Projekt: G6.003-01/23

KB01/23 Deformation



Kurve	Messpegel	Messreihen	Datum	Diff. Tage	Tiefe	Bemerkung
<span style="color: red;">—</span>	KB01_23	G5001-23-1A1 - G5001-23-1A0	02.05.2023 - 05.04.2023	27	49,5 m	
<span style="color: blue;">—</span>	KB01_23	G5001-23-1A2 - G5001-23-1A0	30.05.2023 - 05.04.2023	55	49,5 m	

Abbildung 32: Messdaten des Inklinometers KB01\_23.

Abbildung 33 (Ascending Mode) und Abbildung 35 (Descending Mode) beschreiben die aus den InSAR-Daten abgeleiteten Bewegungsintensitäten in mm pro Jahr, wobei die visualisierten Werte eine Verschiebung in Richtung Nordosten beschreiben. Sowohl die roten (Ascending Mode) als auch die blauen (Descending Mode) Messergebnisse beschreiben dabei eine nordostwärts gerichtete Bewegung, lediglich aus zwei entgegengesetzten Satelliten-Geometrien gemessen. Die InSAR-Messungen im Bereich des Wohnhauses (östlich der Straße) zeigen hingegen keine signifikante Bewegung.

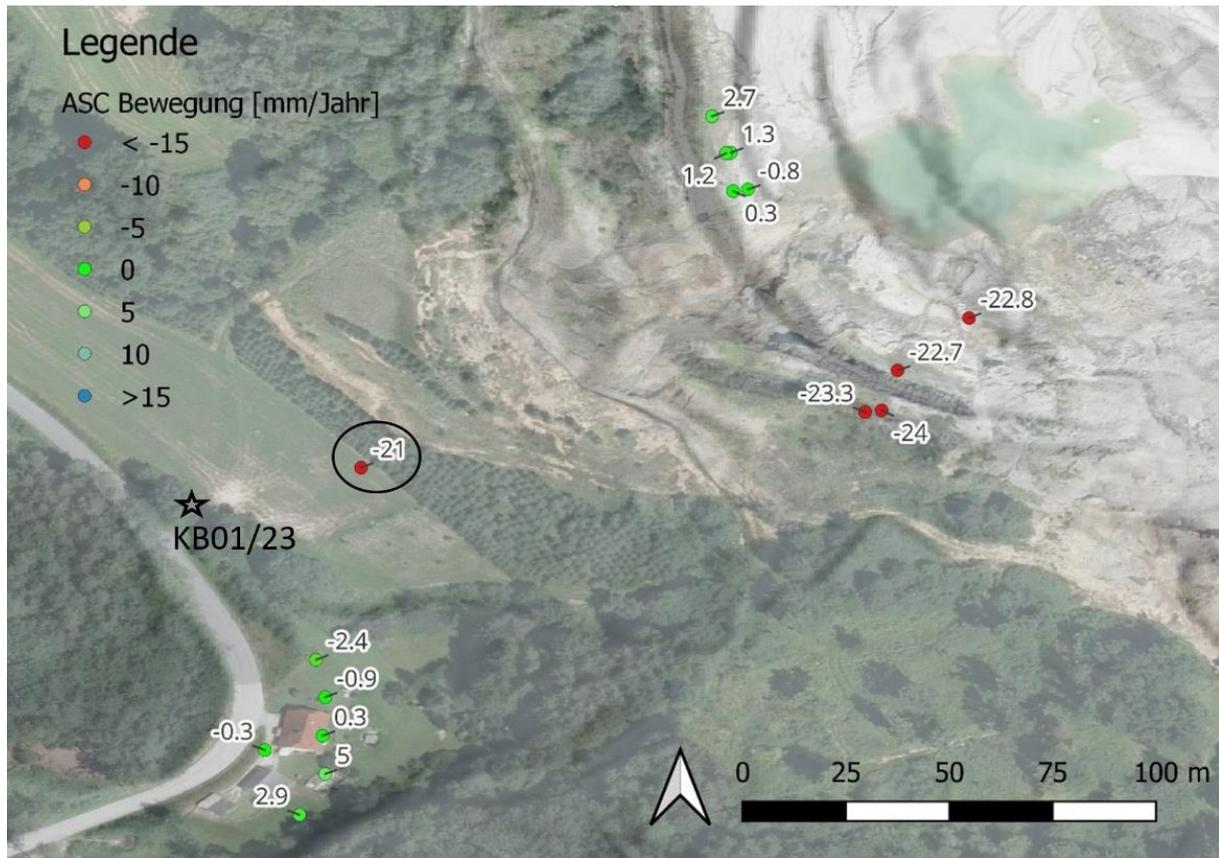


Abbildung 33: InSAR-Bewegungen (Ascending Mode) im Bereich des Tagebaus Kamig.

Das folgende Diagramm (Abbildung 34) repräsentiert den in Abbildung 33 markierten InSAR-Messpunkt (schwarzer Kreis, nächster Messwert zu den Inklinometern) und dessen jahreszeitliches Verhalten. Die Inklinometer-Messungen im Bereich von KB01\_23 (durchschnittlich 11 cm pro Jahr) sind deutlich höher als die InSAR-Messwerte (durchschnittlich 2,1 cm pro Jahr), wobei im direkten Bereich des Inklinometers keine InSAR-Messpunkte detektierbar waren, da dieser Bereich bewaldet ist. Genauere Aussagen könnten hier durch einen permanenten Radarreflektor oder regelmäßige LIDAR-Befliegungen ermöglicht werden.

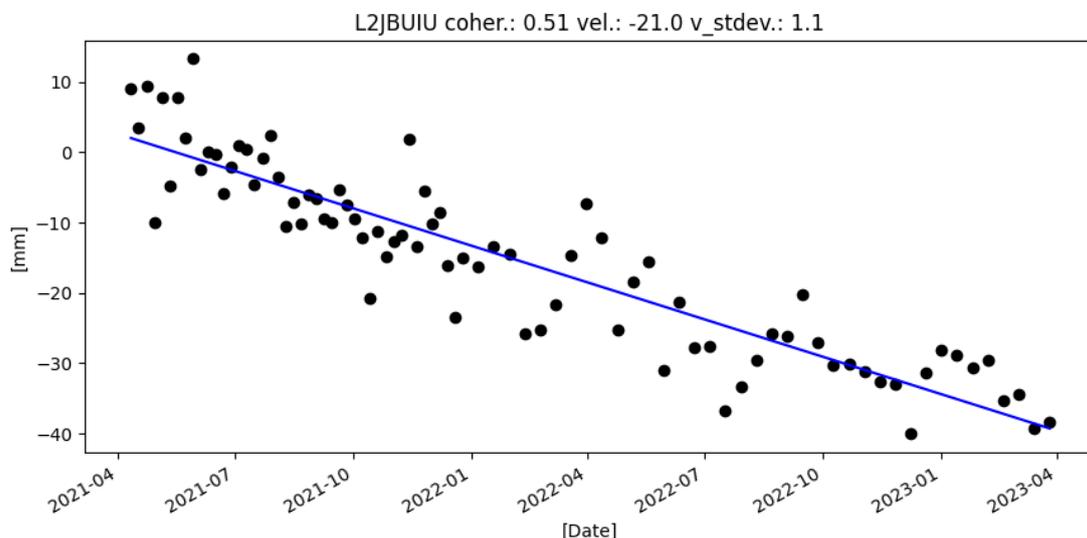


Abbildung 34: InSAR-Verschiebungskurve aus dem Nahbereich von KB01\_23 (in Abbildung 33 mit schwarzem Kreis markiert).

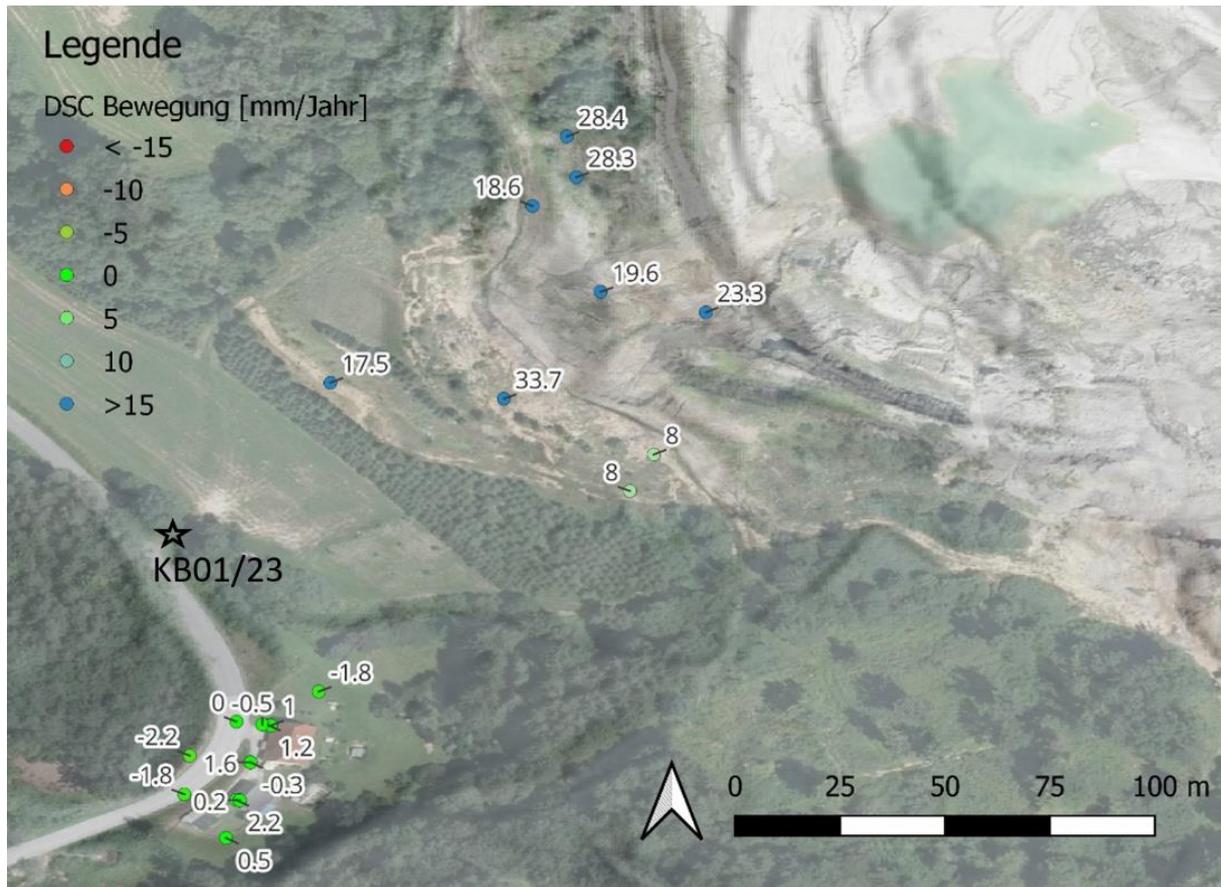


Abbildung 35: InSAR-Bewegungen (Descending Mode) im Bereich des Tagebaus Kamig.

### 8.4.2 Wartberg/Aist-Untergaisbach, Zeilerberg (AOI 1)

Für den Bereich Wartberg/Aist-Untergaisbach, Zeilerberg liegen Inklinometer-Daten für die Jahre 2011-12 und 2017 vor. Im Jahr 2011 wurden im Bereich KB01 Bewegungen von 0,4 cm in 73 Tagen (2 cm pro Jahr) festgestellt (Abbildung 37). Im Jahr 2017 wurden hingegen in 106 Tagen nur 0,2 cm (0,7 cm pro Jahr) Bewegung registriert. KB02 erfuhr im 2011 eine Bewegung von 0,6 cm in 73 Tagen (3 cm pro Jahr), 2017 hingegen innerhalb von 106 Tagen keine signifikante Bewegung.

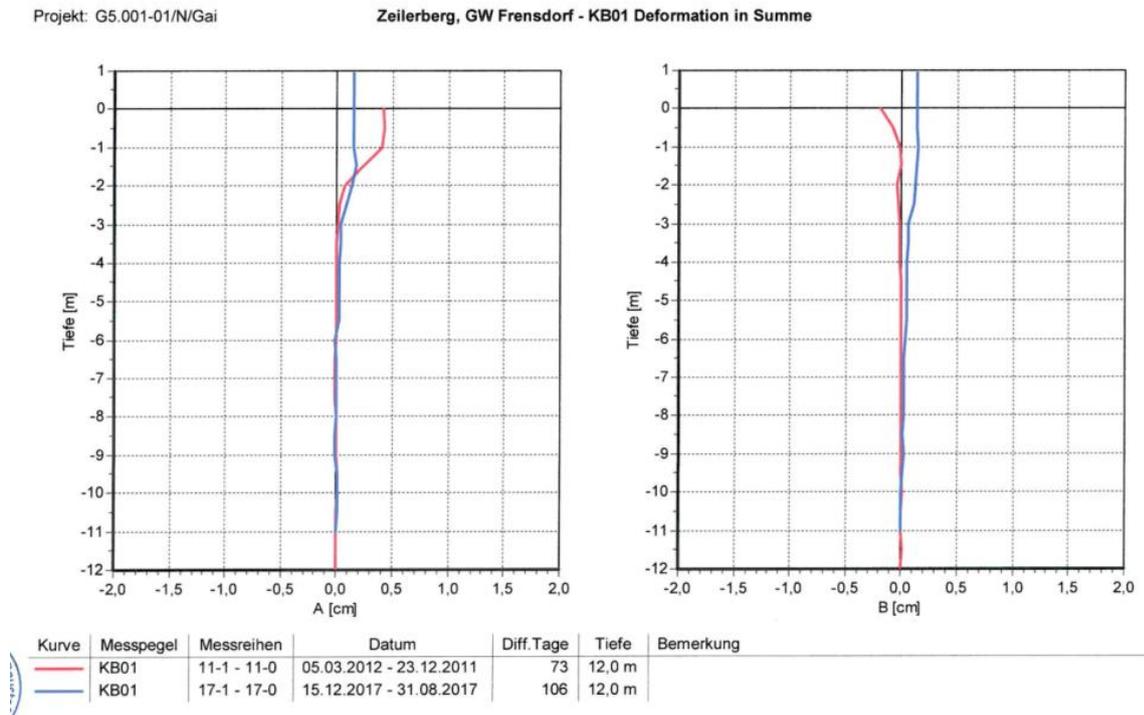
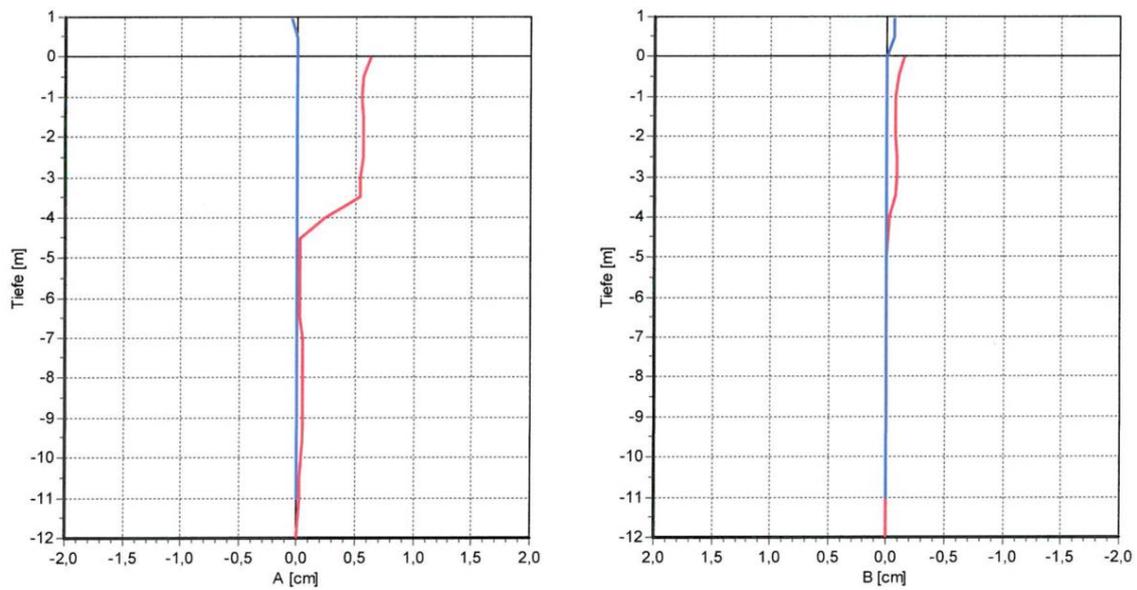


Abbildung 36: Inklinometer-Daten im Bereich von KB01.

Projekt: G5.001-01/N/Gai

Zeilerberg, GW Frensdorf - KB02 Deformation in Summe



Kurve	Messpegel	Messreihen	Datum	Diff. Tage	Tiefe	Bemerkung
—	KB02	11-1 - 11-0	05.03.2012 - 23.12.2011	73	12,0 m	
—	KB02	17-1 - 17-0	15.12.2017 - 31.08.2017	106	12,0 m	

Abbildung 37: Inclinometer-Daten im Bereich von KB02.

Die InSAR-Daten zeigen im großräumigen Bereich von KB01 und KB02 keine signifikanten Bewegungen. Es wurde eine mittlere Bewegungsrate von 0,2 cm pro Jahr bei einer mittleren Standardabweichung von 0,13 cm pro Jahr gemessen. Auf Basis dieser Daten scheint sich, wie auch die Inclinometer-Daten des Jahres 2017 zeigen, die vorangegangene Bewegung stabilisiert zu haben. Abbildung 38 und Abbildung 39 beschreiben die Lage der InSAR-Messpixel und das mittlere Bewegungsmuster. Hierbei ist nur ein minimaler Bewegungstrend (blaue Trendlinie) zu erkennen.



Abbildung 38: Lage der InSAR-Messpunkte im Bereich von KB01 und KB02.

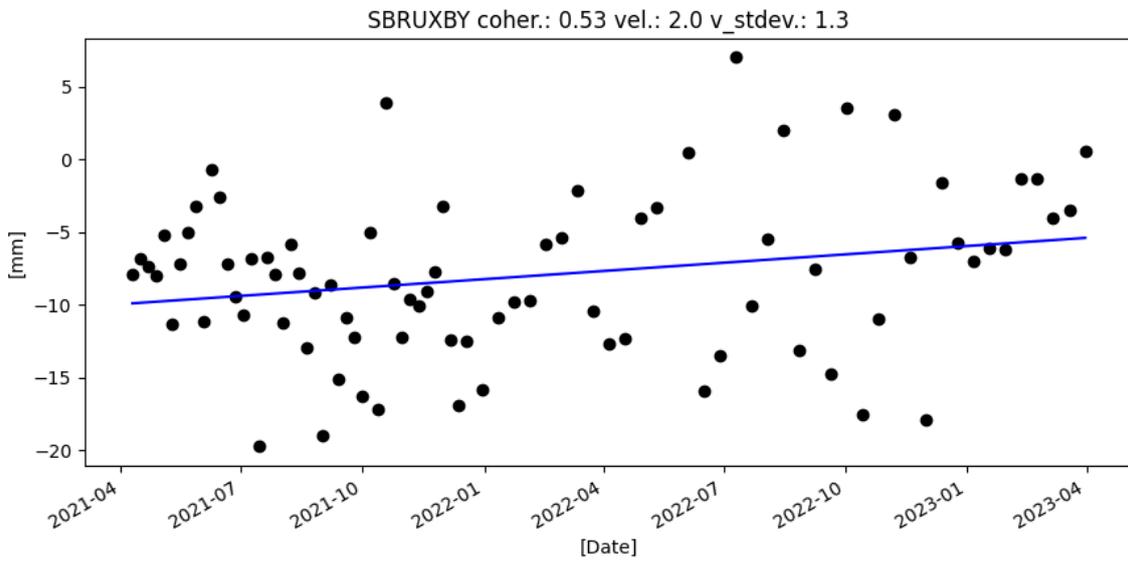


Abbildung 39: InSAR-Verschiebungskurve im Bereich von KB02.

### 8.4.3 Engerwitzdorf, A7 ~ km 24, südliche Autobahnböschung (AOI 1)

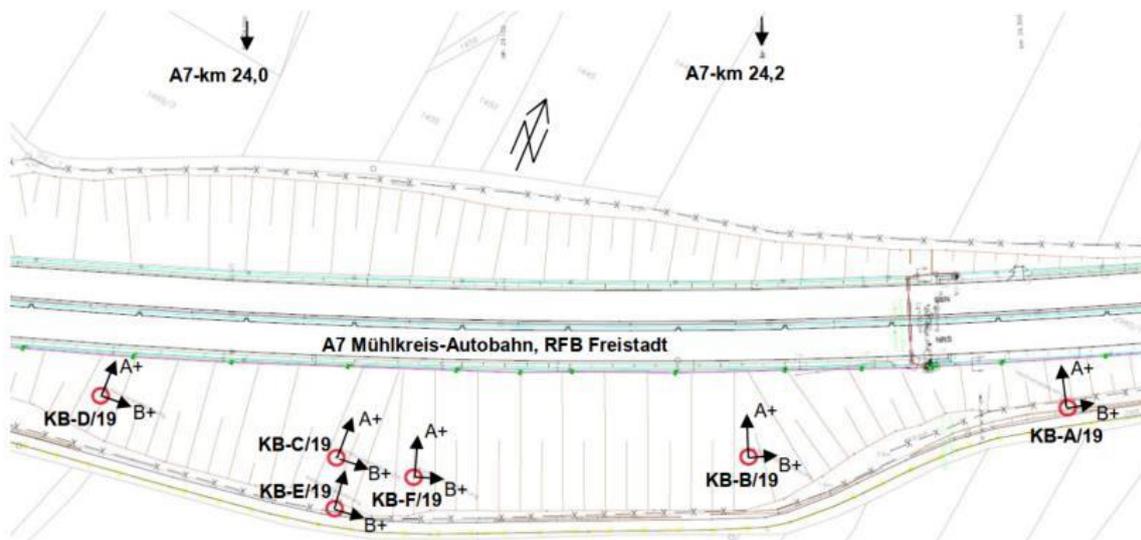


Abbildung 40: Lage der Messpegel mit Orientierung der Inclinometer-Messachsen.

Für den Bereich Engerwitzdorf, A7 ~ km 24 (südliche Autobahnböschung) liegen sechs bis in das Jahr 2019 zurückreichende Inclinometer-Zeitreihen vor. KB-F\_19 und KB-C\_19 weisen innerhalb von 850 Messtagen eine kumulierte Verschiebung von 1,8 cm in Richtung A+ auf (Abbildung 41), woraus eine jährliche Bewegungsrate von 0,77 cm abgeleitet werden kann. Die restlichen Inclinometer zeigen über eine Messperiode von 850 Tagen keine signifikanten Bewegungen.

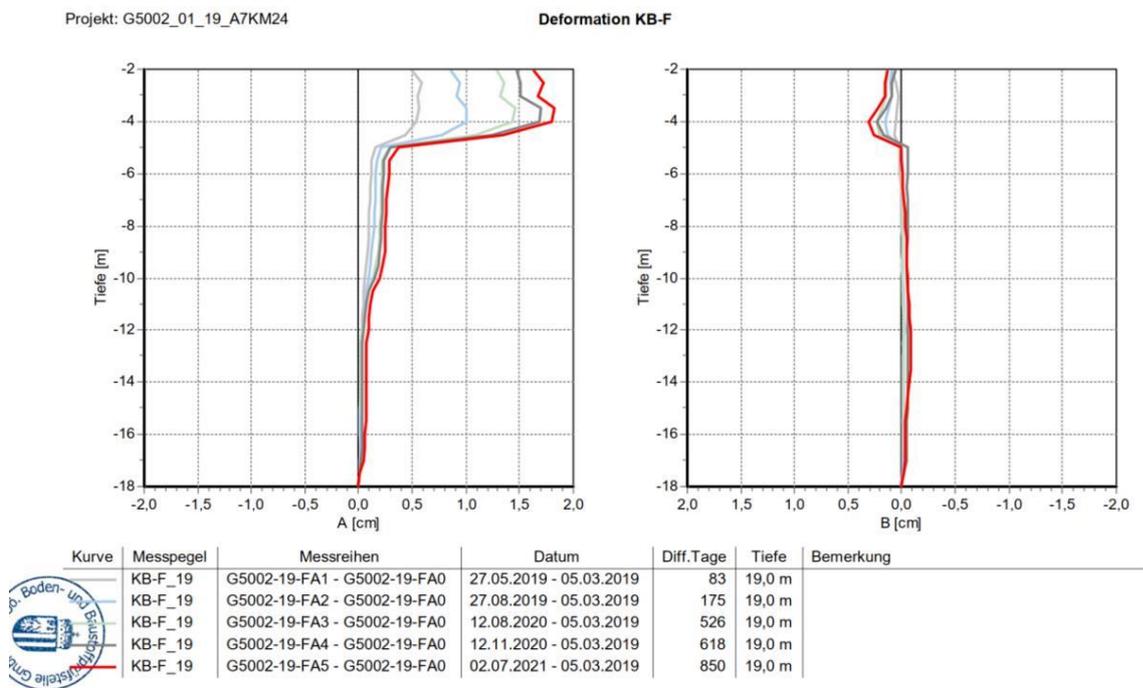


Abbildung 41: Inclinometer-Messdaten am Standort KB-F\_19.

Der schwarz umrandete Bereich in Abbildung 42 definiert das Untersuchungsgebiet mit den In-situ-Messeinrichtungen. Im Bereich von KB-E\_19 existiert ein Sendemast, welcher gute InSAR-Messwerte liefert. Der Rest des Untersuchungsgebietes liegt im Wald und zeigt somit

keine verwertbaren Messergebnisse. KB-E\_19 (Abbildung 44) zeigt keine signifikante Bewegung, wobei eine Bewegung hier ab der dreifachen Standardabweichung (Drei-Sigma-Regel), als signifikant klassifiziert. Dies gilt in selbem Maße für die InSAR-Raten dieses Bereichs, welche mit einer mittleren Bewegung von 0,19 cm pro Jahr bei einer dreifachen Standardabweichung von 0,33 cm pro Jahr ebenso als nicht signifikant einzustufen sind.

Zu beachten ist dabei jedoch, dass die aus dem Jahr 2019 stammenden Messungen an Inklinometer KB-E\_19 nur zwei Messwerte aufweisen und daher kein Zeitreihenvergleich möglich ist. Jedoch zeigen sowohl die Inklinometer als auch die InSAR-Daten im Bereich des Sendemastes keine signifikanten Bewegungen und daher eine grundsätzliche Übereinstimmung.

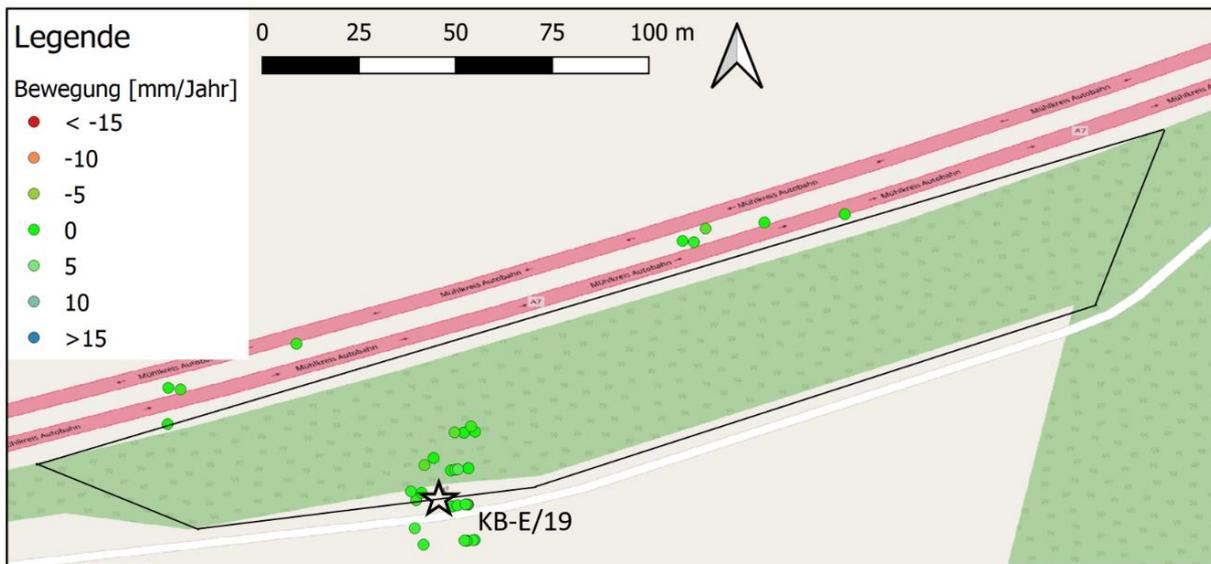


Abbildung 42: Lage der InSAR-Messpunkte im Bereich der Autobahnböschung Engerwitzdorf.

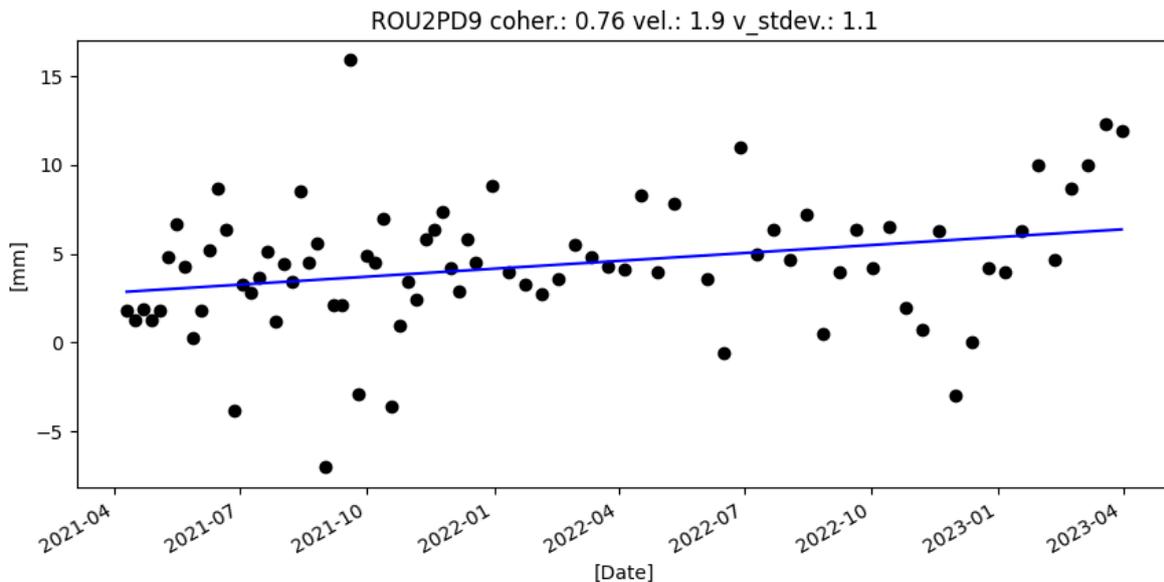


Abbildung 43: InSAR-Verschiebungskurve im Bereich des Sendemastes (KB-E\_19).

Projekt: G5002\_01\_19\_A7KM24

Deformation KB-E

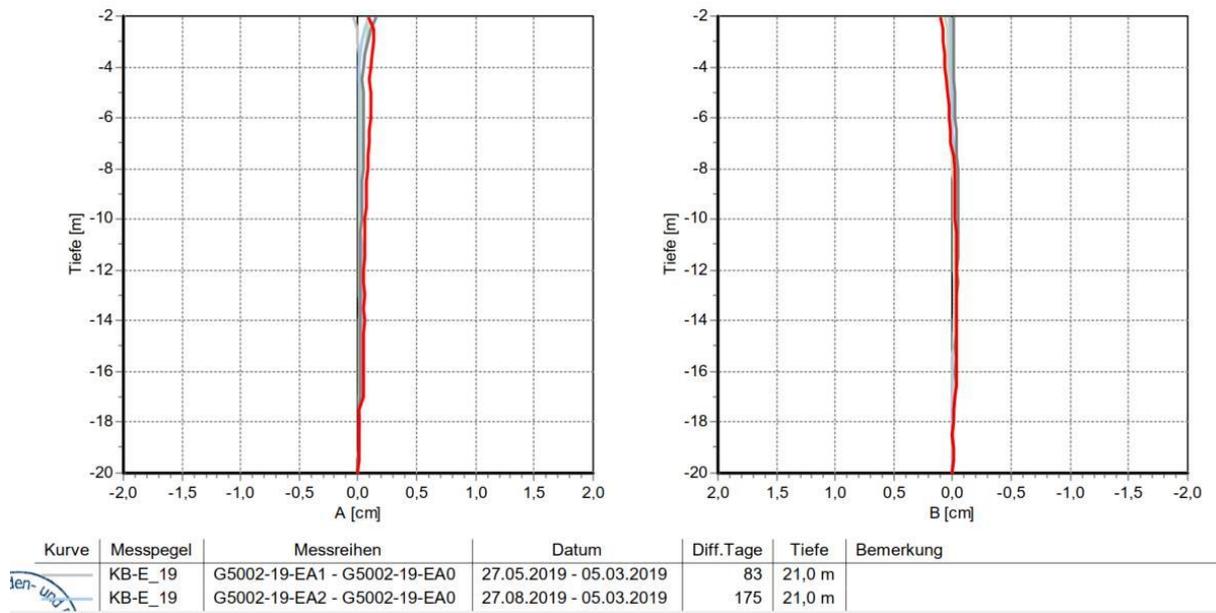


Abbildung 44: Inklinometer-Messdaten am Standort KB-E\_19.

## 9. Diskussion

Die in Kapitel 5 formulierten Forschungsfragen werden im nachfolgenden Diskussionskapitel aufgegriffen und kurz diskutiert. Jeder der vier Forschungsfragen ist dabei ein eigenes Subkapitel gewidmet, deren Reihenfolge konsistent ist mit der Nummerierung der Forschungsfragen in Kapitel 5.

### 9.1 Identifizierung von Bewegungsschwerpunkten (Hotspots)

In Kapitel 8 wurde eine Analyse der Bewegungsschwerpunkte (Hotspots) innerhalb der Area of Interest (AOI) vorgenommen. Die Analyse führte zur Identifizierung zahlreicher Hotspots und lieferte wertvolle Einblicke in die geologisch-geomorphologische Aktivität des Untersuchungsgebietes. Diese Hotspots können auf potenzielle Risiken oder spezifische geologische Herausforderungen hinweisen, die besondere Aufmerksamkeit erfordern. Die Identifizierung dieser Schwerpunkte mittels InSAR liefert eine robuste großflächige Beurteilungsbasis für mehrjährige Zeiträume und ermöglicht damit eine objektive und gezielte Entwicklung von Maßnahmen zur Risikominderung (Objektschutz, Raumplanung, Verkehrssicherheit, Versicherungswerte etc.).

Die Auslösung von Massenbewegungen stellt vielfach ein Zusammenspiel von mehreren Einflussfaktoren dar und ist meist nur der letzte Schritt in einem schon lang andauernden Prozess der Destabilisierung.

Die Einflussfaktoren für Massenbewegungen können in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- a) Schwächende Faktoren oder Ursachen.
- b) Auslösende Faktoren

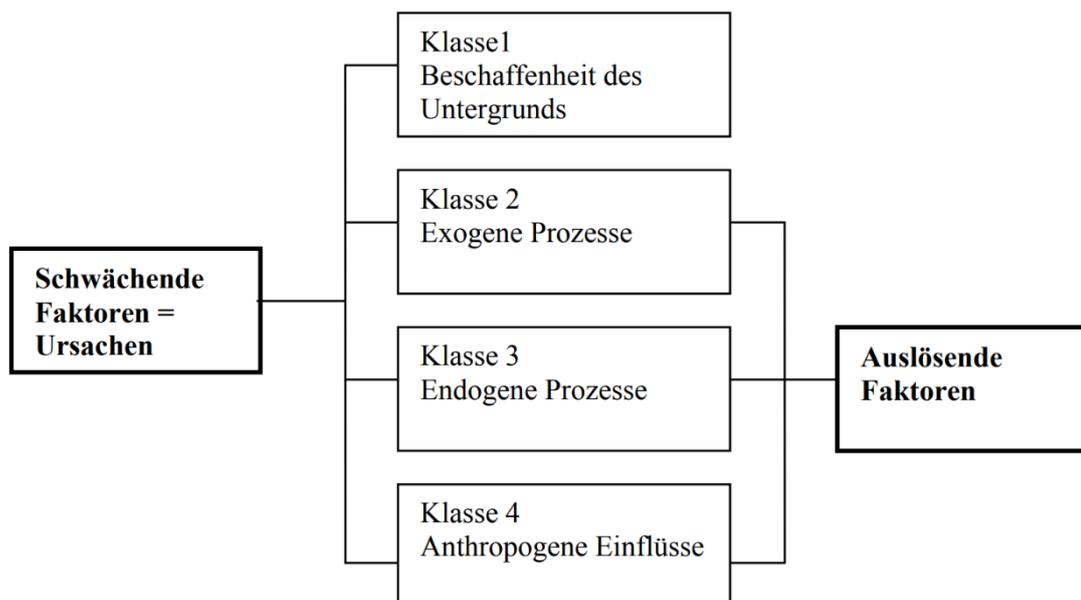


Abbildung 45 Einflussfaktoren, die zur Auslösung von Massenbewegungen führen können.

[13, 15] Einflussfaktoren, die zur Auslösung von Massenbewegungen führen können

Nach der Darstellung kommen nur die Klassen zwei bis vier als auslösende Faktoren für Massenbewegungen in Frage. Die Beschaffenheit des Untergrunds, also die geologisch-geotechnischen Eigenschaften von Gesteinen oder Böden, beeinflussen die Stabilität eines Hangs in entscheidender Art und Weise und bestimmen, ob ein Hang grundsätzlich versagen kann. Anthropogenen Einflüssen, sowie Prozessen, die an der Geländeoberfläche (z.B. Starkregen) oder im Untergrund wirken (z.B. Rissbildung, Erdbeben) kommen sowohl als schwächende als auch als auslösende Faktoren in Frage. Als anthropogene Einflüsse werden sämtliche, von Menschen gesetzte Maßnahmen gezählt, die die Stabilität eines Hanges negativ beeinflussen. Dazu zählen beispielsweise großflächige landwirtschaftliche Drainagierungen, die Unterschneidung eines Hanges bzw. Böschungseinschnitte für ein Bauwerk, oder die Belastung eines sensiblen Hanges durch eine Dammschüttung und die Verfüllung eines Grabens. Auf Grund der gegebenen Flächennutzung als Bauland, für landwirtschaftliche Zwecke und als Verkehrswege sind anthropogenen Einflüsse im weitesten Sinn für den gesamten Betrachtungsraum AOI 1 anzunehmen. Im Betrachtungsraum AOI 2 sind als anthropogene Einflüsse unter anderem Tagebau, Entwässerungsanlagen sowie Verkehrswege und deren baulichen Begleitmaßnahmen bekannt. Massenbewegungen können bei Betrachtung über einen längeren Zeitraum zudem verschiedene Stadien der Aktivität aufweisen (aktiv, ruhend, reaktiviert).

Anhand der geologischen Situation ist für die Festlegung der relevanten Prozessarten in beiden Betrachtungsräumen für weite Bereiche von feinkörnigem, bindigem Bodenmaterial auszugehen. Die Geländetopografie im Betrachtungsraum AOI 1 ist geprägt von vergleichsweise mäßig bis gering geneigten Flächen. Im Betrachtungsraum AOI 2 wurde das natürliche Gelände relief bereichsweise durch den Tagebau verändert. Als mögliche relevante Prozessarten können in den Betrachtungsräumen vorweg Setzungs- und Gleitbewegungen (langsames Kriechen bis schnelles Rutschen einer zusammenhängenden Masse) vermutet werden. Im Ereigniskataster vom Land Oö. wurden dokumentierte Schadens-Ereignisse in Zusammenhang mit geogenen Massenbewegungen nachträglich erhoben und graphisch verortet. Ereignisinformationen wurden bis dahin nicht bei einer übergeordneten Stelle gesammelt, sondern abhängig vom entstandenen Schaden und der örtlichen oder fachlichen Zuständigkeit in verschiedenen Einrichtungen erhoben. Erhobene Ereignisse wurden im Jahr 2017 schließlich in den Ereigniskataster der Hinweiskarte aufgenommen und in der Karte verortet. Die Ereignisse wurden als punktförmige Symbole dargestellt (vgl. Abbildung 5). Bezogen auf den Betrachtungsraum AOI 1 sind im Ereigniskataster 20 Ereignisse mit allgemeiner Zuordnung zur Prozessart Rutschung dokumentiert. Geklüftetes und angewittertes Festgestein ist im Betrachtungsraum AOI 1 nur untergeordnet vorhanden. Steinschlagereignisse sind im Ereigniskataster nicht dokumentiert. Lediglich ein einzelner Straßenabschnitt in der Gemeinde Engerwitzdorf wurde gemäß der Kartengrundlage mit Steinschlagtafeln beschildert. Steinschlag ist demnach im Betrachtungsraum kaum relevant. Im Betrachtungsraum AOI 2 sind entlang der Straße 3 Schadensereignisse in Zusammenhang mit Rutschungen erfasst.

Es können über die satellitenbasierten InSAR-Messungen nur Prozesse mit sehr langsamen Geschwindigkeiten (mm – wenige cm pro Jahr) festgestellt werden. In Hinblick auf die derzeit verfügbaren Satelliten werden Bewegungsraten von maximal 50-60 mm/a detektiert.

Ein Monitoring von Steinschlag oder Gleitbewegungen mit Bewegungsraten ab 60 mm/a ist mit den derzeit verfügbaren Satellitendaten nicht möglich. Neben der Ausweisung von Bereichen ohne signifikanten Bewegungsraten sollte im Idealfall eine Unterscheidung zwischen der Prozessart „Setzung“ mit vorwiegend horizontaler Bewegung zur Prozessart „Hangkriechen“ mit vertikaler und horizontaler Bewegungsrichtung möglich sein.

Table 4: Geschwindigkeitsklassen für Massenbewegungen.

Geschwindigkeitsklasse	Geschwindigkeit	Beschreibung	Schadensausmaß
7	> 5 m/s	Extrem schnell	Katastrophe, Häuser und Infrastruktur total zerstört; viele Menschenopfer durch den Aufprall der bewegten Massen.
6	3 m/min – 5 m/s	Sehr Schnell	Einige Menschenleben, da die Geschwindigkeit des Prozesses zu schnell ist und damit nicht alle Personen rechtzeitig fliehen können; schwere Zerstörungen.
5	1,8 m/h - 3 m/min	Schnell	Flucht und Evakuierung von Personen ist möglich; Verlust von Hab und Gut, zerstörte Bauten und Infrastruktur.
4	158 m/a - 1,8 m/h	Moderat	Bei unempfindlichen Konstruktionen, die sich wenig entfernt vor dem Fuß der Massenbewegung befinden kann u.U. der Schaden durch entsprechende Maßnahmen abgewandt werden. Konstruktionen auf der Massenbewegung selbst werden schwer beschädigt.
3	1,6 m/a – 158 m/a	langsam	Straßen und andere wenig sensible Strukturen können durch Instandhaltungsarbeiten repariert werden, wenn die Bewegungen nicht zu lange anhalten und wenn sie nicht allzu konzentriert, sondern als Teilbewegungen über einen weiten Bereich auftreten.
2	16 mm/a - 1,6 m/a	Sehr langsam	Kleiner oder kein Schaden.
1	< 16 mm/a	Extrem langsam	Kein Schaden für Gebäude und Infrastruktur, die mit entsprechenden Vorkehrungen gebaut wurden

[13,14] Geschwindigkeitsklassen für Massenbewegungen gem. WP/WLI zur Einschätzung der Intensität bzw. der Zerstörungskraft der Prozesse.

Die vorliegende Studie bekräftigt die hohe Eignung von satellitengestütztem InSAR für die Überwachung von Verkehrsinfrastrukturen und Siedlungsbereichen. Besondere Herausforderungen in bewaldeten bzw. dicht bewachsenen Gebieten unterstreichen die Notwendigkeit einer passenden Auswahl von Überwachungsmethoden unter Berücksichtigung der vorherrschenden Oberflächenbedeckung. Die Kombination von InSAR-Daten mit In-situ-Messungen (sofern vorhanden) ermöglicht eine umfassende Validierung und stärkt die Glaubwürdigkeit der gewonnenen Informationen. Die Lokalisierung von Bewegungsschwerpunkten in Siedlungsgebieten bzw. entlang von Infrastrukturen bildet die Grundlage für präventive Maßnahmen zur Verbesserung der Objektsicherheit.

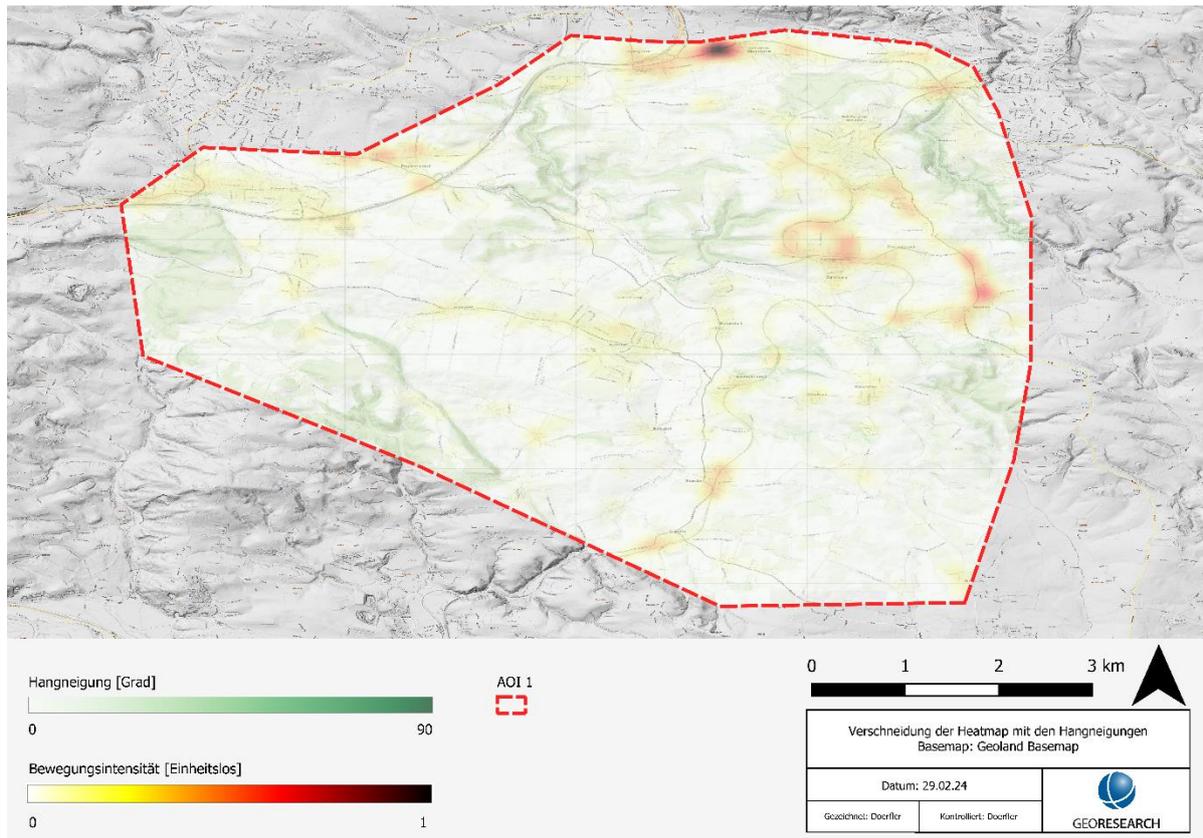


Abbildung 46: Verschneidung der Hotspots mit den Hangneigungen im Bereich AOI 1 (Großformatkarte im Anhang).

Die auf Basis der InSAR-Daten identifizierten Bewegungsbereiche sind in einigen Bereichen, so beispielsweise in Engerwitzdorf, konsistent mit der Gefahrenhinweiskarte für gravitative Massenbewegungen (Abbildung 5), jedoch können auf Basis der Hotspotanalysen zudem neue Gefahrenbereiche ausgewiesen werden, beispielsweise die Bahntrasse nahe Nöbling. Eine ganzheitliche Betrachtung, die InSAR-Messungen mit geologischen Informationen verknüpft, verfügt über das Potenzial neue Dimensionen in der quantitativen Analyse der beobachteten Bewegungsmuster zu eröffnen. Die Ergebnisse verdeutlichen weiters die signifikante Rolle geologischer Strukturen bei der Entstehung der beobachteten Bewegungsmuster, wie in dem Abgleich der Abbildung 2 und Abbildung 46 durch den Vergleich der Bewegungs-Hotspots und der Lage des Älteren Schliers eindrucksvoll zu erkennen ist. Die Verknüpfung von InSAR-Daten mit vorhandenen geologischen Karten verfeinert somit das raumzeitliche Verständnis ablaufenden Oberflächen- und Untergrundprozesse und erleichtert die Interpretation der mittels InSAR beobachteten Bewegungsmuster. Die geomorphologischen Strukturen wie die Hangneigung spielen in den Siedlungsbereichen der AOI 1 allerdings keine signifikante Rolle,

da die Siedlungsbereiche sich meist in sehr flachem Gelände befinden (vgl. Abbildung 47). Dies bestätigen auch die durchgeführten Regressionsanalysen, visualisiert in Abbildung 31, welche die Verschneidung zwischen der durchschnittlichen Hangneigung und der durchschnittlichen Bewegungsgeschwindigkeit für jedes einzelne Bauwerk ( $n = 5696$ ) repräsentieren.

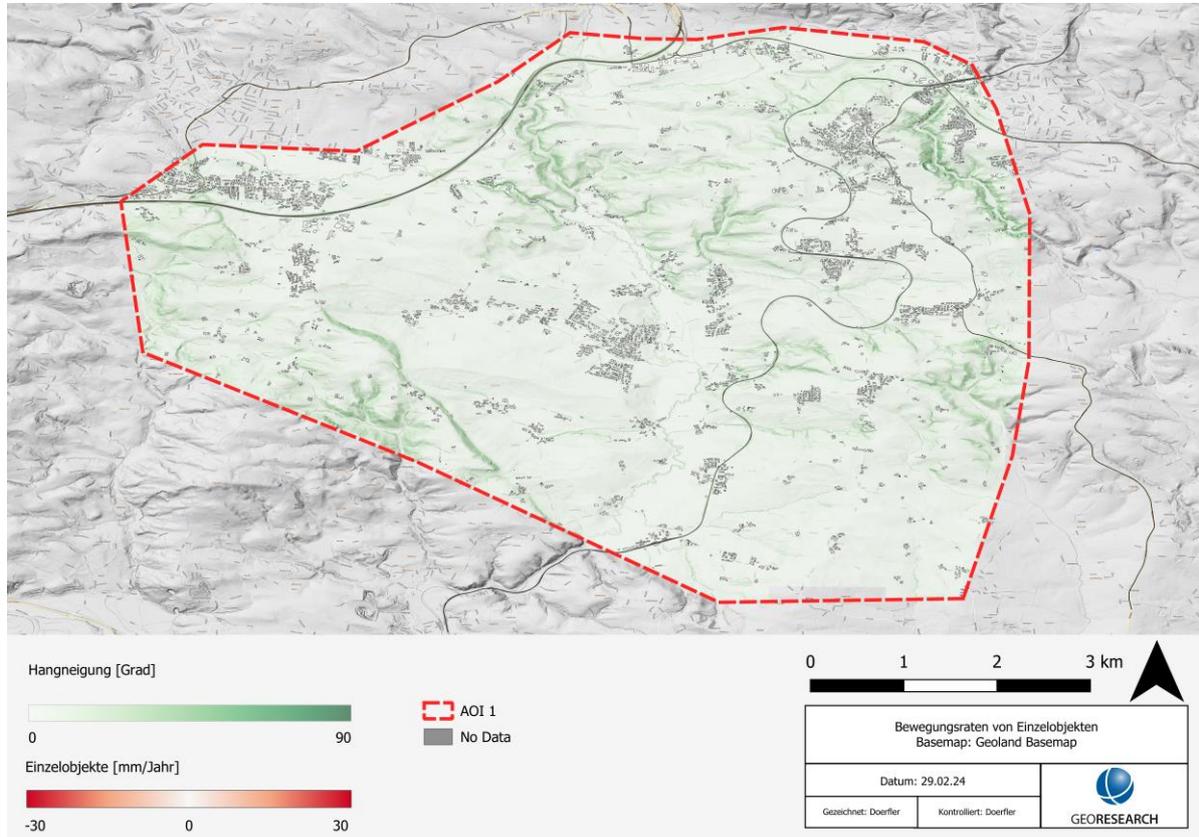


Abbildung 47: Bewegungsraten von Einzelobjekten im Bereich AOI 1 (Großformatkarte im Anhang).

Während in den Siedlungsbereichen kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Hangneigung und der Bewegungsrate errechnet werden konnte, können entlang der Infrastrukturen (Eisenbahntrasse und Straßen) vor allem in steileren Böschungsbereichen erhöhte Hangbewegungen definiert werden. Diese steilen Schüttungen sind jedoch nicht geologischen Ursprungs, sondern auf den anthropogenen Eingriff in diesen Bereichen zurückzuführen.

Grundwasser dürfte auf Grund des hohen Flurabstands keinen nennenswerten Einfluss auf die Bewegungen haben. Betreffend Einflüsse der Witterung oder oberflächennahen Schichtenwässern liegen keine Informationen vor. Ein Zusammenspiel der Auswirkungen von anthropogenen Faktoren (Bautätigkeiten, Drainagierungen, Anschüttungen, etc.) und den geologischen Rahmenbedingungen kann generell vermutet werden. Eine Abgrenzung der Einflussfaktoren / Auslösemechanismen für die detektieren Bewegungen ist ohne jeweilige Detailanalysen nicht möglich. Eine solche Analyse könnte potenziell für kritische Standorte durchgeführt werden, im Rahmen der vorliegenden Potentialstudie kann allerdings nicht detailliert auf diese erweiterten Fragestellungen eingegangen werden.

## 9.2 Detektion von Übergangsbereichen zwischen bewegtem und unbewegtem Terrain

Die Heatmap-Darstellungen der InSAR-Daten haben sich als effektives Werkzeug erwiesen, um die Übergangsbereiche zwischen bewegten und unbewegten Abschnitten hervorzuheben und in leicht verständlicher Form zu visualisieren. Hinsichtlich der Qualität der genutzten InSAR-Daten ist zu beachten, dass die Daten des European Ground Motion Service (EGMS) aufgrund ihrer Verwendung von 100\*100 m Rasterweiten und einer erheblich geringeren Punktdichte, nur bedingt für detaillierte, kleinskalige Anwendungen verwendbar sind (z.B. lineare Infrastrukturen, Abbildung 48). Die deutlich größere Rasterweite und demnach geringere Messpunktdichte der EGMS-Daten führen dabei zu einer wesentlich geringeren räumlichen Genauigkeit bei der Identifikation von Übergangsbereichen. So lassen sich mittels der EGMS-Daten beispielsweise auch Deformationen von Gebäuden meist nicht auf Einzelhaus-Ebene bestimmen, es wird lediglich innerhalb von einem 100\*100 m Pixel auf eine sich in diesem Bereich befindende Bewegung hingewiesen.

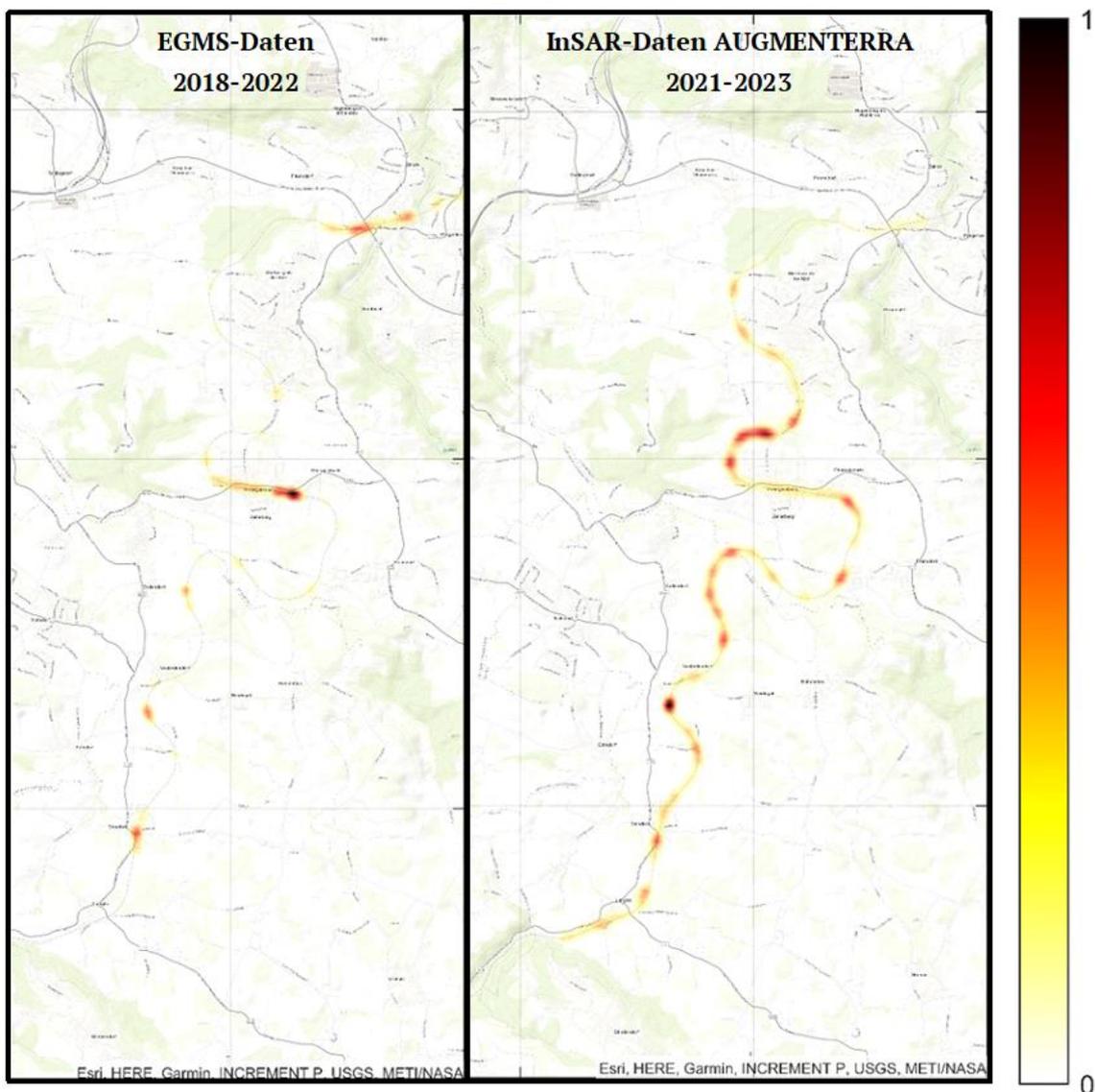


Abbildung 48: Vergleich von den EGMS-Daten mit den InSAR-Daten der AUGMENTERRA.

### 9.3 Validierung der InSAR-Messungen durch In-situ-Messungen

Für eine stichprobenartige Überprüfung der Plausibilität der InSAR-Auswertungen erfolgte an drei Orten ein Abgleich mit lokalen Inklinometer-Messwerten. Eine Ausweitung der Stichprobengröße wurde durch das Fehlen weiterer Inklinometer-Standorte im Untersuchungsgebiet verhindert.

Am ersten Validierungsort (Tagebau Kamig) zeigen InSAR-Daten (2021-2023) und Inklinometer-Daten (2023) eine signifikante Bewegung (Richtung Nordosten). Am zweiten Validierungsort (Wartberg/Aist-Untergaisbach, Zeilerberg) weisen weder InSAR- noch Inklinometerdaten auf relevante Bewegungen hin, allerdings ist hier in diesem Fall der beträchtliche Zeitunterschied zwischen InSAR-Daten (2021-2023) und Inklinometer-Daten (2017) zu berücksichtigen. Am dritten Validierungsort (Autobahnböschung Engerwitzdorf) zeigen weder der lokale InSAR-Reflektor (Sendemast) noch das dem Reflektor am nächsten liegende Inklinometer signifikante Bewegungen. Auch hier sind mit dem erheblichen Zeitunterschied zwischen InSAR-Daten (2021-2023) und Inklinometer-Daten (2019) und dem offensichtlich sehr kleinräumigen Bewegungsmuster (Inklinometer in der unmittelbaren Nachbarschaft zeigen signifikante Bewegungen) jedoch Unsicherheitsfaktoren zu berücksichtigen, die die Aussagekraft der Validierung schmälern.

Trotz der an den jeweiligen Validierungsorten vorherrschenden Unsicherheitsfaktoren, zeigt sich in allen drei Fällen eine grundsätzliche Konsistenz zwischen InSAR-Messung und Inklinometer-Messung. Dieser Eindruck wird durch zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen verstärkt, die auf eine hohe Korrelation von InSAR-Bewegungsraten mit In-situ-Messungen hinweisen und die Zuverlässigkeit von InSAR-Auswertungen unterstreichen.

### 9.4 Anwendungsgrenzen von InSAR

Die Millimetergenauigkeit und die Fähigkeit zur mehrjährigen, berührungslosen Beobachtung großer Flächen machen InSAR zu einer der weltweit wichtigsten Methoden für die Beurteilung geringfügiger Oberflächenveränderungen (mm bis cm pro Jahr).

Signifikante Anwendungsgrenzen bestehen in bewaldeten bzw. dicht bewachsenen Gebieten (z.B. Dammhänge), wie auch im Rahmen der vorliegenden Studie für die lokalen Waldregionen gezeigt wurde, die als Datenlücken in den Auswertungen klar ersichtlich sind. Sentinel-1, bzw. C-Band-Satelliten, eignen sich daher nicht für stark bewachsene Flächen. Punktuelle Abhilfe verschafft dabei die Installation künstlicher Reflektoren (Corner-Reflektoren). Diese bilden einen persistenten Reflektor und liefern – auch im Winter – verlässliche Daten über lokale Oberflächenbewegungen. Eine interessante Alternative für Fragestellungen auf Flächen mit starkem Bewuchs stellt weiters die Nutzung geringerer Radarfrequenzen (L-Band-Satelliten, 1-2 GHz) dar, deren Eindringtiefe auf Grund der größeren Wellenlänge wesentlich höher ist.

Ein weiterer Faktor, der die Anwendbarkeit von InSAR-Daten limitieren kann, sind bauliche Maßnahmen, welche zu starken Signalstörungen bis hin zum Signalverlust führen kann. Meist können für neue Gebäude nachbauliche Setzungen festgestellt werden, welche oft fälschlicherweise auf geologisch bedingte Setzungen zurückgeführt werden. Weiter sind

Asphaltierungsarbeiten des Öfteren Auslöser für vermeintliche „Hebungen“ oder „Setzungen“, tatsächlich hat sich aber nur der Reflektor in Hinblick auf seine räumliche Lage oder Ausdehnung verändert.

Bei der Beurteilung der Anwendungsgrenzen von InSAR für die Überwachung von Siedlungsbereichen und Verkehrsinfrastrukturen spielt neben dem Faktor Vegetation und den anthropogen bedingten Änderungen auch die starke Skalenabhängigkeit der verschiedenen zur Verfügung stehenden InSAR-Services eine wesentliche Rolle. Das im vorliegenden Bericht vorgestellte InSAR-Service des EGMS (European Ground Motion Service) repräsentiert auf Grund der groben räumlichen Auflösung der Daten (100\*100 m) ein Überblickstool, mit der Fähigkeit auf kontinentaler bis regionaler Skale auf Oberflächenveränderungen hinzuweisen. Für detaillierte, kleinräumige Untersuchungen in topographisch komplexen Umgebungen reicht die Datenqualität des EGMS-Service hingegen in der Regel nicht aus. EGMS-Daten sollten daher als regionaler Zeiger bzw. als grob aufgelöste Hinweisebene betrachtet werden, nicht jedoch als alleinige Datenquelle für anspruchsvolle Anwendungen. Für Letztgenannte sollte auf hochaufgelöste, aufwändig prozessierte InSAR-Services mit einer adäquaten Datenkontrolle zurückgegriffen werden.

## 10. Ausblick

Über satellitenbasierte InSAR-Messungen können aktive Gebiete mit Setzungen und Hangbewegungen sowohl in Siedlungsgebieten als auch entlang von Verkehrsinfrastrukturen identifiziert werden. Die Daten eignen sich ideal für die großflächige Erkennung von langsamer Oberflächenveränderungen.

Die vorgestellte Methode stellt damit eine wichtige ergänzende Fachgrundlage in der Raumplanung, in der geologischen Begutachtung sowie bei der Ausarbeitung von Gefahrenhinweiskarten für gravitative Massenbewegungen dar.

Im Zuge der InSAR-Anwendung wurden die Bewegungsraten zahlreicher Hotspot-Gebiete identifiziert, für die soweit aktuell bekannt, keine oder kaum In-situ Messungen vorhanden sind. Die satellitenbasierten Messungen bieten neben einer Beurteilung von bestehenden Inklinometer-Messungen den Vorteil, den Standort neuer (geplanter) Inklinometer-Messstellen an den im Vorfeld erkannten Gefährdungsbereichen auszurichten, um Bewegungsraten effizient und repräsentativ zu erfassen.

Bei „extrem langsamen“ (mm pro Jahr) Bewegungsraten ist die Feststellung, ob überhaupt eine Massenbewegung vorliegt, anhand geländemorphologischer Merkmale allein, kaum möglich. Über das InSAR-Monitoring können auch „extrem langsam“ vorangehende Bewegungen erkannt werden bzw. mögliche Initialbewegungen in einem sehr frühen Stadium erkannt werden bevor Schäden auftreten. Nachdem in Zusammenhang mit geogenen Massenbewegungen aktive und ruhige Phasen möglich sind, ist die Betrachtung über einen längeren Zeitraum entscheidend.

Es wird empfohlen, identifizierte aktive Bewegungsbereiche über ein InSAR-Monitoring Programm zu beobachten, um temporäre Phänomene von langfristigen Entwicklungen zu unterscheiden. Eine kontinuierliche Trendanalyse ermöglicht nicht nur die Erkennung von Veränderungen im Bewegungsverhalten, sondern gibt auch Einblicke in mögliche Ursachen und Entwicklungsmuster.

Einschränkungen in der Nutzung der InSAR-Technologie ergeben sich in Gebieten mit dichter Wald- oder Vegetationsbedeckung. Um das Bewegungsverhalten in Bereichen mit hoher Vegetationsdichte dennoch erfassen zu können, empfiehlt sich die Installation spezieller Radarreflektoren (im Bereich AOI 1 z.B. im Bereich der Inklinometer an der Autobahnböschung Engerwitzdorf). Diese Reflektoren ermöglichen eine störungsfreie Datenaufnahme im Sommer und im Winter. Zusätzlich sind die InSAR-Messpunkte durch die Installation der Reflektoren im Gelände absolut verortbar und reproduzierbar.

In manchen Fällen werden Pseudo-Bewegungsraten durch Bautätigkeiten verursacht und nicht durch geogene Massenbewegungen. Vermutet wurde dieser Effekt im Bereich der B124 bei Obervisnitz. Hier demonstrieren die InSAR-Daten einen signifikanten Bewegungsbereich, der mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Bautätigkeiten der Straßenmeisterei zurückzuführen ist. Eine kritische Hinterfragung der Ergebnisse ist daher von hoher Relevanz.

Die festgestellten aktiven Bewegungsbereiche innerhalb von AOI 1 liegen zu großen Teilen im Bereich des Älteren Schliers. Worauf die teils starken Bewegungsunterschiede innerhalb

des Älteren Schliers zurückzuführen sind, konnte anhand der vorliegenden Daten und Informationen pauschal nicht begründet werden. Eine Erfassung der individuellen Untergrundverhältnisse oder Einflussnahme durch anthropogene Eingriffe wäre nur über eine Detailbetrachtung und Erhebung vor Ort möglich. Dies könnte in Zusammenhang mit der Anwendung von InSAR-Daten die Basis einer Folgestudie bilden.

## 11. Literaturverzeichnis

- [1] Hydrogeologie von Oberösterreich, K. Vohryzka, Amt der Oö. Landesregierung, 1973;
- [2] Erläuterungen zur Übersichtskarte des Kristallins im westlichen Mühlviertel und im Sauwald, Oberösterreich, Wien 1968, Eigentümer, Herausgeber, und Verleger: Geologische Bundesanstalt Wien;
- [3] Zur Geologie des Kristallins der südlichen Böhmisches Masse, Gerhard Fuchs & Alois Matura, Wien 1976;
- [4] Das Oligocänbecken von Gallneukirchen bei Linz a.D. und seine Nachbargebiete. Von Rudolf Grill 1935, Austrian Journal of Earth Sciences;
- [5] Arbeitstagung der Geologischen 1983, Stichwortabelle zur geotechnischen Karte von Oberösterreich, M1:200.000;
- [6] KAMIG – Kaolinbergbau Kriechbaum, Angaben zu Geologie/Lagerstättenkunde für den Tagbau West, 2018, FRIEDL ZT GmbH Rohstoff- und Umweltconsulting;
- [7] Bericht: Bodenmechanische und tonmineralogische Differenzierung von Älterem Schlier und Schlier i.A., 2018, BPS GmbH;
- [8] diverse Fachkarten DORIS webOffice, Digitales Oberösterreichisches Raum-Informationssystem, Abteilung Geoinformation und Liegenschaft, Land Oberösterreich, Stand 2023;
- [9] HORA Webkartendienst vom Land-, forst- und wasserwirtschaftlichem Rechenzentrum GmbH, Gefahrenhinweiskarte Rutschungen der Österreichischen Bundesländer, 1:200.000, ARGE GHK Rutschungen Arbeitsgemeinschaft zur Erstellung einer Gefahrenhinweiskarte Rutschungen für Österreich Schlussbericht Oktober 2016;
- [10] Ferretti, Alessandro; Fumagalli, Alfio; Novali, Fabrizio; Prati, Claudio; Rocca, Fabio; Rucci, Alessio (2011): A New Algorithm for Processing Interferometric Data-Stacks: SqueeSAR. In IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing 49 (9), pp. 3460–3470. DOI: 10.1109/TGRS.2011.2124465.
- [11] European Ground Motion Service. EGMS, 2023, online abrufbar unter: <https://land.copernicus.eu/en/products/european-ground-motion-service>, zuletzt geprüft: 10.01.2024
- [12] Iuliana Armaş, Mihaela Gheorghe, Ana Maria Lendvai, Paul Daniel Dumitru, Octavian Bădescu & Alexandru Călin (2016) InSAR validation based on GNSS measurements in Bucharest, International Journal of Remote Sensing, 37:23, 5565-5580, DOI: 10.1080/01431161.2016.1244367
- [13] Lehrgang Ereignisdokumentation, Leitfaden 2012-04-27: 4. aktualisierte Fassung, Ing. Mag. Dr. techn. Johann Thomas Sausgruber – Geologische Stelle, Fortstechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung;
- [14] Working Party on World Landslide Inventory (International Geotechnical Societies UNESCO): A suggested Method for describing the Rate of Movement of a Landslide. Bulletin of the IAEG 52, (1995), p. 75-78 aus dem Lehrgang Ereignisdokumentation, Leitfaden 2012-04-27: 4. aktualisierte Fassung, Ing. Mag. Dr. techn. Johann Thomas Sausgruber – Geologische Stelle, Fortstechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung;

[15] Working Party on World Landslide Inventory (International Geotechnical Societies UNESCO): A suggested Method for reporting Landslide Causes. Bulletin of the IAEG 50, (1994), p. 71-74; aus dem Lehrgang Ereignisdokumentation, Leitfaden 2012-04-27: 4. aktualisierte Fassung, Ing. Mag. Dr. techn. Johann Thomas Sausgruber – Geologische Stelle, Fortstechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung;

## 12. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Untersuchungsgebiete der vorliegenden Potenzialstudie.....	8
Abbildung 2: Geologische Karte M1:200.000, AOI 1 und AOI 2 schwarz umrandet.....	9
Abbildung 3: Laserscanner-Schummerungen mit Bahntrasse, Straßen, Hauptgewässer, Grundwasserisolinien und Grundwasserstauerlinien.....	13
Abbildung 4: Ausschnitt aus der Hora Gefahrenhinweiskarte Rutschungen (M1.200.000)....	14
Abbildung 5: Ausschnitt aus der Gefahrenhinweiskarte für gravitative Massenbewegungen. .....	16
Abbildung 6: Berechnung der InSAR-Bewegungsvektoren. ....	19
Abbildung 7: Lage und Verteilung der InSAR-Einzelmessungen .....	22
Abbildung 8: InSAR-Analyse (AUGMENTERRA) der Eisenbahninfrastruktur in AOI 1. ....	23
Abbildung 9: InSAR-Analyse (EGMS) der Eisenbahninfrastruktur in AOI 1. ....	24
Abbildung 10: InSAR-Analyse (AUGMENTERRA) des Straßenverkehrsnetz in AOI 1. ....	25
Abbildung 11: InSAR-Analyse (EGMS) des Straßenverkehrsnetz in AOI 1.....	26
Abbildung 12: InSAR-Analyse (AUGMENTERRA) der Siedlungsbereiche in AOI 1.....	27
Abbildung 13: InSAR-Analyse (EGMS) der Siedlungsbereiche in AOI 1. ....	28
Abbildung 14: Hotspots im Bereich der Bahntrasse Nöbling/Katsdorf. ....	29
Abbildung 15: Hotspots im Bereich der Bahntrasse Gaisbach. ....	31
Abbildung 16: InSAR-Hotspots im Bereich der B123, Obergaisbach-Frensdorf. ....	32
Abbildung 17: InSAR-Hotspots im Bereich der B124 bei Obervisnitz. ....	33
Abbildung 18: InSAR-Hotspots im Bereich der A7, Schweinbach-Engerwitzberg. ....	34
Abbildung 19: InSAR-Hotspots im Bereich des Gewerbegebiets Radingdorf-Obervisnitz. ....	35
Abbildung 20: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Bereich des Gewerbegebiets Radingdorf-Obervisnitz.....	36
Abbildung 21: InSAR-Hotspots im Siedlungsbereich Untergaisbach-Obergaisbach- Zeilerberg-Frensdorf. ....	37
Abbildung 22: Beschleunigte Bewegungen in dem Siedlungsbereich nördlich des Bahnhofs Gaisbach-Wartberg. ....	38
Abbildung 23: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Untergaisbach- Obergaisbach-Zeilerberg.....	39
Abbildung 24: InSAR-Hotspots im Siedlungsbereich Schweinbach-Engerwitzdorf.....	40
Abbildung 25: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Schweinbach.....	41
Abbildung 26: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Engerwitzdorf. ....	42
Abbildung 27: Übersicht InSAR-Messergebnisse im Bereich Haid – Langwiesen auf Gebäudeebene.....	43
Abbildung 28: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Wolfing.....	44
Abbildung 29: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Katsdorf. ....	45
Abbildung 30: Objektbasierte InSAR-Auswertung im Siedlungsbereich Bodendorf.....	45
Abbildung 31: Regressionsanalysen zwischen der durchschnittlichen Bewegungsrate pro Jahr und der durchschnittlichen Hangneigung pro Objekt/Gebäude (n = 5695). ....	46
Abbildung 32: Messdaten des Inklinometers KB01_23.....	48
Abbildung 33: InSAR-Bewegungen (Ascending Mode) im Bereich des Tagebaus Kamig. ....	49
Abbildung 34: InSAR-Verschiebungskurve aus dem Nahbereich von KB01_23 (in Abbildung 33 mit schwarzem Kreis markiert). ....	49

Abbildung 35: InSAR-Bewegungen (Descending Mode) im Bereich des Tagebaus Kamig. ....	50
Abbildung 36: Inklinometer-Daten im Bereich von KB01.....	51
Abbildung 37: Inklinometer-Daten im Bereich von KB02.....	52
Abbildung 38: Lage der InSAR-Messpunkte im Bereich von KB01 und KB02. ....	53
Abbildung 39: InSAR-Verschiebungskurve im Bereich von KB02. ....	53
Abbildung 40: Lage der Messpegel mit Orientierung der Inklinometer-Messachsen. ....	54
Abbildung 41: Inklinometer-Messdaten am Standort KB-F_19.....	54
Abbildung 42: Lage der InSAR-Messpunkte im Bereich der Autobahnböschung Engerwitzdorf.....	55
Abbildung 43: InSAR-Verschiebungskurve im Bereich des Sendemastes (KB-E_19). ....	55
Abbildung 44: Inklinometer-Messdaten am Standort KB-E_19.....	56
Abbildung 45 Einflussfaktoren, die zur Auslösung von Massenbewegungen führen können.	57
Abbildung 46: Verschneidung der Hotspots mit den Hangneigungen im Bereich AOI 1 (Großformatkarte im Anhang).....	60
Abbildung 47: Bewegungsraten von Einzelobjekten im Bereich AOI 1 (Großformatkarte im Anhang). ....	61
Abbildung 48: Vergleich von den EGMS-Daten mit den InSAR-Daten der AUGMENTERRA.	62

### 13. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Schicht- und Kopfdaten einer verfügbaren GeoloGIS Bohrung innerhalb AOI 1. ....	11
Tabelle 2: Unterscheidung der Hinweistypen A, A+, B.....	15
Tabelle 3: Tabellarische Zusammenfassung der Bodenmechanischen Untersuchung.....	17
Tabelle 4: Geschwindigkeitsklassen für Massenbewegungen.....	59