

# DER EINSATZ VON INSAR-STUDIEN FÜR RUTSCHUNGEN

## THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND PRAXIS



Amt für Wald  
und Natur

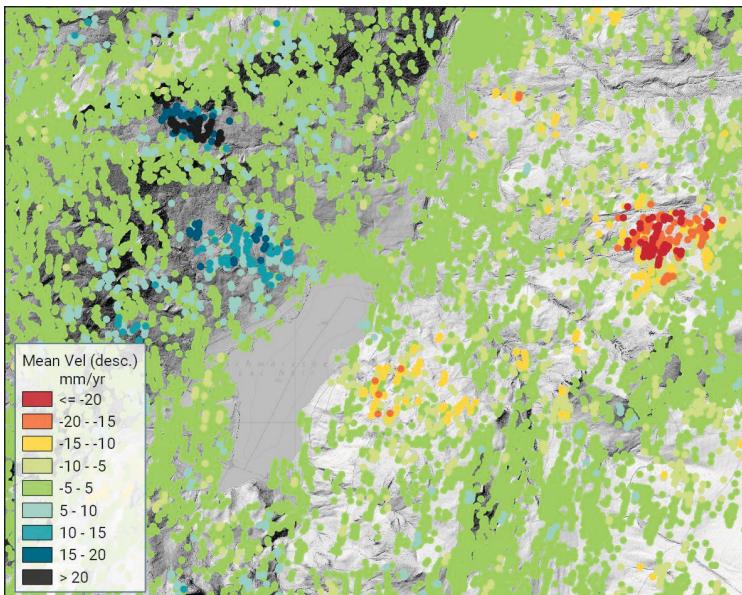
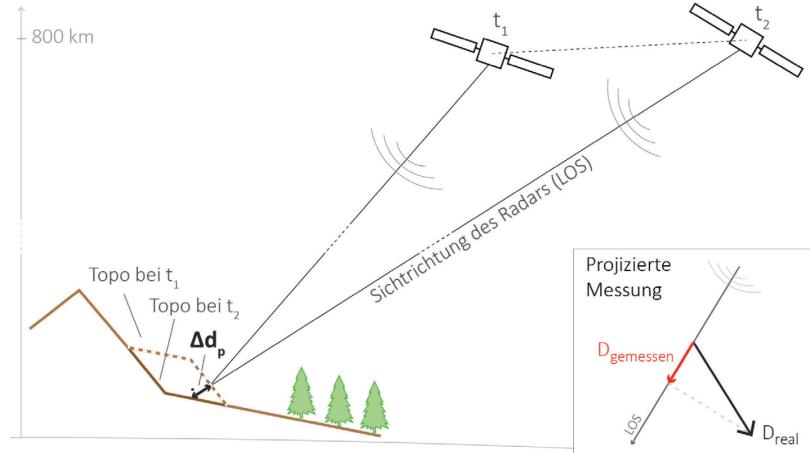
ETAT DE FRIBOURG  
STAAT FREIBURG

### INSAR-STUDIEN UND RUTSCHUNGEN

InSAR-Studien sind auf regionaler Ebene besonders geeignet, um grosse aktive instabile Hänge zu erkennen und zu überwachen, wie z.B. permanente langsame Erd- oder Felsrutschungen, tiefgreifende gravitative Hangverformungen oder Sackungen.

### PROJIZIERTE MESSUNGEN

Es gilt zu beachten, dass bei InSAR-Messungen die tatsächlichen Bewegungen zwischen zwei Radar-Aufnahmen auf die Sichtlinie des Radarsatelliten (*line-of-sight, LOS*) projiziert sind.



### WICHTIGSTER NUTZEN

Erkennung von sehr grossen, langsamem, permanenten Rutschungen und Instabilitäten auf regionaler Skala

### WICHTIGSTE BEGRENZUNG

Signifikanter Signalverlust bei zu schnellen Bewegungen oder plötzlichen Beschleunigungen, bei zu viel Vegetation oder bei Bewegungen in Nord/Süd-Richtung

### FÄHIGKEIT ZUR ERKENNUNG

Hervorragend im Siedlungsgebiet oder anderer Infrastruktur, mittelmässig auf natürlichem Gelände

### FÄHIGKEIT ZUR ÜBERWACHUNG

Sehr gut, wenn Aufnahmen des Interessengebiets regelmässig verfügbar sind und bei langsamem Rutschungen

### FÄHIGKEIT FÜR WARNUNG IN ECHTZEIT

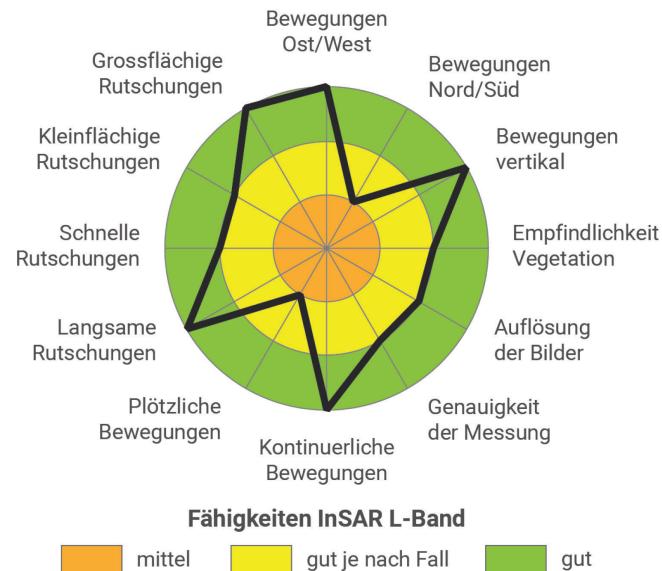
Sehr begrenzt, da Messungen nicht fortlaufend erfolgen

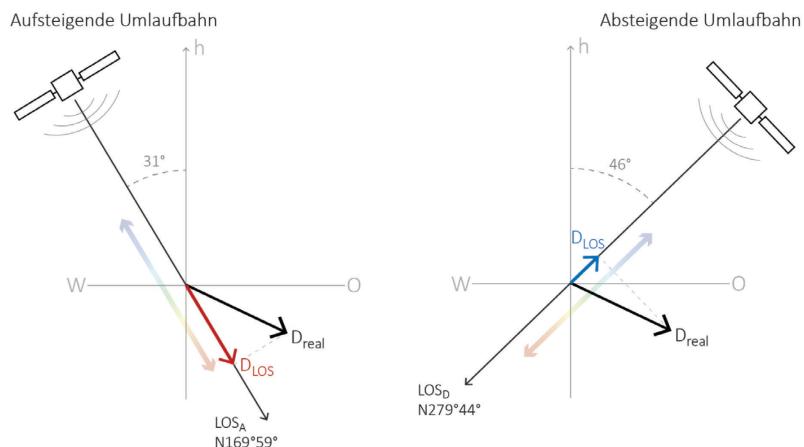
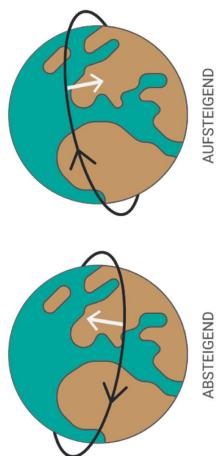
### RADAR-AUFNAHMEN IN C-BAND GEGENÜBER L-BAND

**Aufnahmen im C-Band** (Wellenlänge ~5,6 cm) sind die umfangreichsten Datensätze, die mit dem Sentinel-1-Archiv der ESA kostenlos zur Verfügung stehen. Sie messen Bewegungen zwischen 1 und 25 mm/Jahr, sind aber sehr sensibel gegenüber Vegetation (Wälder wie Weideflächen).

**Aufnahmen im L-Band** (Wellenlänge ~24 cm) sind begrenztere Datensätze und das Archiv ist kostenpflichtig. Sie messen Bewegungen zwischen 10 und 50 mm/Jahr, sind aber weniger sensitiv für Vegetation. Im Kanton Freiburg, wo es viele permanente Rutschungen in Wäldern und Weidenflächen gibt, sind L-Band-Aufnahmen daher gut geeignet.

Zusätzlich zu den Wellenlängen sind die Messergebnisse umso genauer, je länger der Beobachtungszeitraum ist und je mehr Radar-Aufnahmen zur Verfügung stehen.

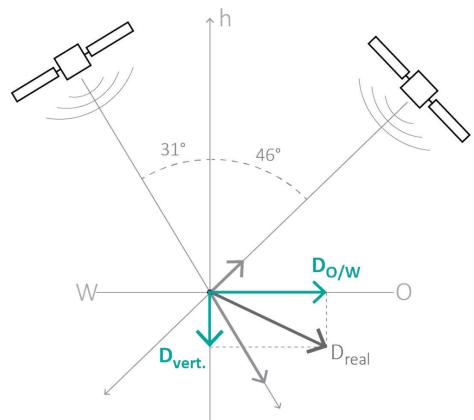




## AUFSTEIGENDE ODER ABSTEIGENDE UMLAUFBAHN

Bei Satellitenbahnen in Nord/Süd-Richtung kann dasselbe Gebiet erfasst werden, entweder in aufsteigender Umlaufbahn mit Blickrichtung nach Osten oder in absteigender Umlaufbahn mit Blickrichtung nach Westen. Die erwartete Bewegungsrichtung bestimmt in der Regel die Wahl der Umlaufbahn. Damit der gemessene LOS-Vektor möglichst dem realen Bewegungsvektor entspricht, gilt es folgende Punkte zu beachten:

- Aufsteigende Umlaufbahnen sind in der Regel für nach Osten geneigte Hänge empfohlen.
- Absteigende Umlaufbahnen sind in der Regel für nach Westen geneigte Hänge empfohlen.
- Nach Norden oder Süden geneigte Hänge sind fast orthogonal zur LOS, weshalb Bewegungen in N-S-Richtung nicht messbar sind.



## ZERLEGUNG DER PROJIZIERTEN VEKTOREN

Anhand der projizierten LOS-Vektoren beider Umlaufbahnen (aufsteigend und absteigend), kann man die realen Bewegungen aufschlüsseln:

- in ihre Ost/West- und Vertikalkomponenten unter der Annahme, dass die reale Bewegung der Ost/West-Achse folgt.
- in ihre 3D-Komponenten unter der Annahme, dass die reale Bewegung der allgemeinen Hangorientierung folgt.

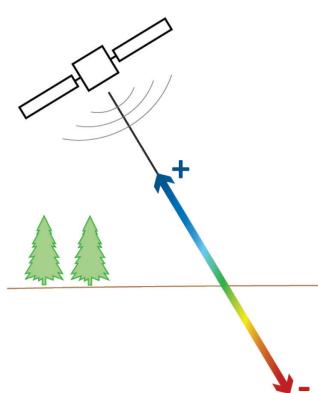
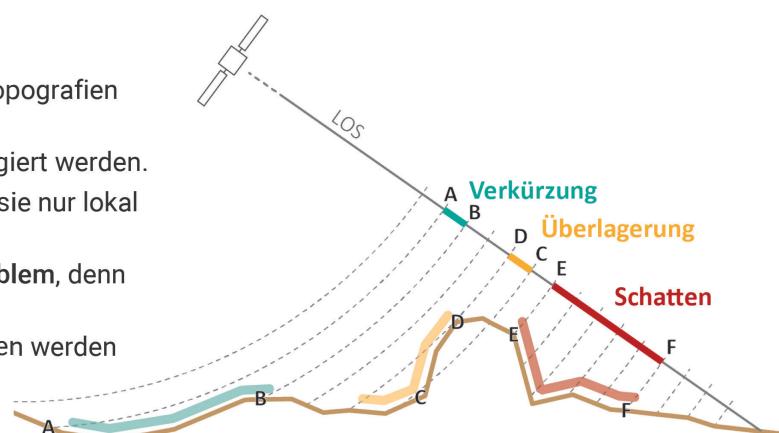
Zudem ist es möglich, aus dem projizierten LOS-Vektor einer Umlaufbahn, die reale Bewegungsamplitude mit einem Korrekturfaktor zu berechnen, unter der Annahme, dass die tatsächliche Bewegung der allgemeinen Orientierung und Neigung des Hangs folgt.

## GEOMETRISCHE VERZERRUNGEN

Aufgrund der geneigten LOS treten in komplexen Topografien drei Arten von geometrischen Verzerrungen auf:

- Verkürzungen können mit einem guten DHM korrigiert werden.
- Überlagerungen, oder layover, sind hinderlich, da sie nur lokal und schwer zu korrigieren sind.
- Abschattungen sind hingegen ein unlösbares Problem, denn ohne Radarsignal ist eine Korrektur unmöglich.

Nur durch Akquisitionen über mehrere Umlaufbahnen werden diese Artefakte begrenzt.



## AUS KONVENTION

- eine **positive LOS-Bewegung** bedeutet, dass sich der Reflektor dem Sensor nähert. Sie wird in blauen Farbtönen dargestellt.
- eine **LOS-Bewegung von null** (stabiler Bereich oder Bewegung orthogonal zur LOS) wird in Grüntönen dargestellt.
- eine **negative LOS-Bewegung** bedeutet, dass sich der Reflektor vom Sensor weg bewegt. Sie wird in einem gelben bis roten Farbtönen dargestellt.

# INSAR-STUDIE IN L-BAND FÜR DEN KANTON FREIBURG

## ALOS-DATEN VON 2014 BIS 2023



Amt für Wald  
und Natur

ETAT DE FRIBOURG  
STAAT FREIBURG

Im Herbst 2023 wurde für den gesamten Kanton Freiburg eine L-Band InSAR-Studie durchgeführt. Die Firmen Gamma Remote Sensing AG (InSAR-Behandlungen) und Terranum GmbH (Projektbegleitung) führten diese im Auftrag des Amtes für Wald und Natur des Staats Freiburg durch.

### SATELLITENBILDER: VERFÜGBARES ARCHIV DES PALSAR-2-SENSORS DES ALOS-2-SATELLITEN

- 22 Bilder in aufsteigender Umlaufbahn A199-F2-5, Modus: ScanSAR und Stripmap, von September 2014 bis Juli 2023
- 15 Aufnahmen in absteigender Umlaufbahn D095, Modus: ScanSAR, von Juni 2015 bis August 2023
- Winterbilder wurden in beiden Umlaufbahnen ausgeschlossen, um Störungen durch die Schneedecke zu filtern

### ORIENTIERUNG DER RADAR-SICHTLINIEN (LOS)

- Orientierung als Fallrichtung/Fallwinkel: aufsteigende Umlaufbahn N169°/59°, absteigende Umlaufbahn N279°/44°

### ANGEWANDTE INSAR-BEARBEITUNG

- Analysemethode IPTA basierend auf persistenten Punktstreuern, entwickelt von der Gamma Remote Sensing AG.
- Korrektur der topografischen, atmosphärischen und geometrischen InSAR-Komponenten mit dem DHM SwissAlti3D

### RÄUMLICHE AUFLÖSUNG

- aufsteigende Umlaufbahn (StripMap): ~10 m | - absteigende Umlaufbahn (ScanSAR): ~30 m

### GENAUIGKEIT DER MESSUNGEN

- jährliche Durchschnittsgeschwindigkeiten: ~9 mm/Jahr über >4 Jahre | - Individuelle Messungen: ~14-15 mm

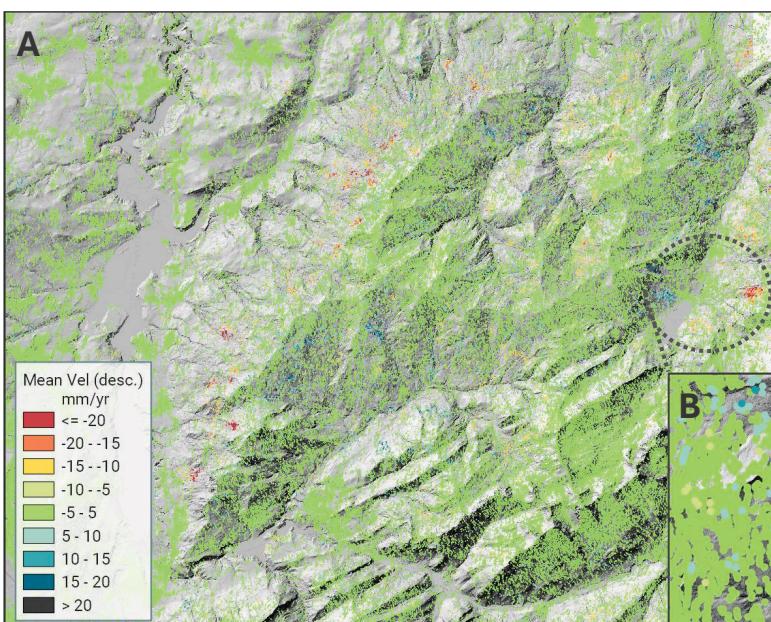
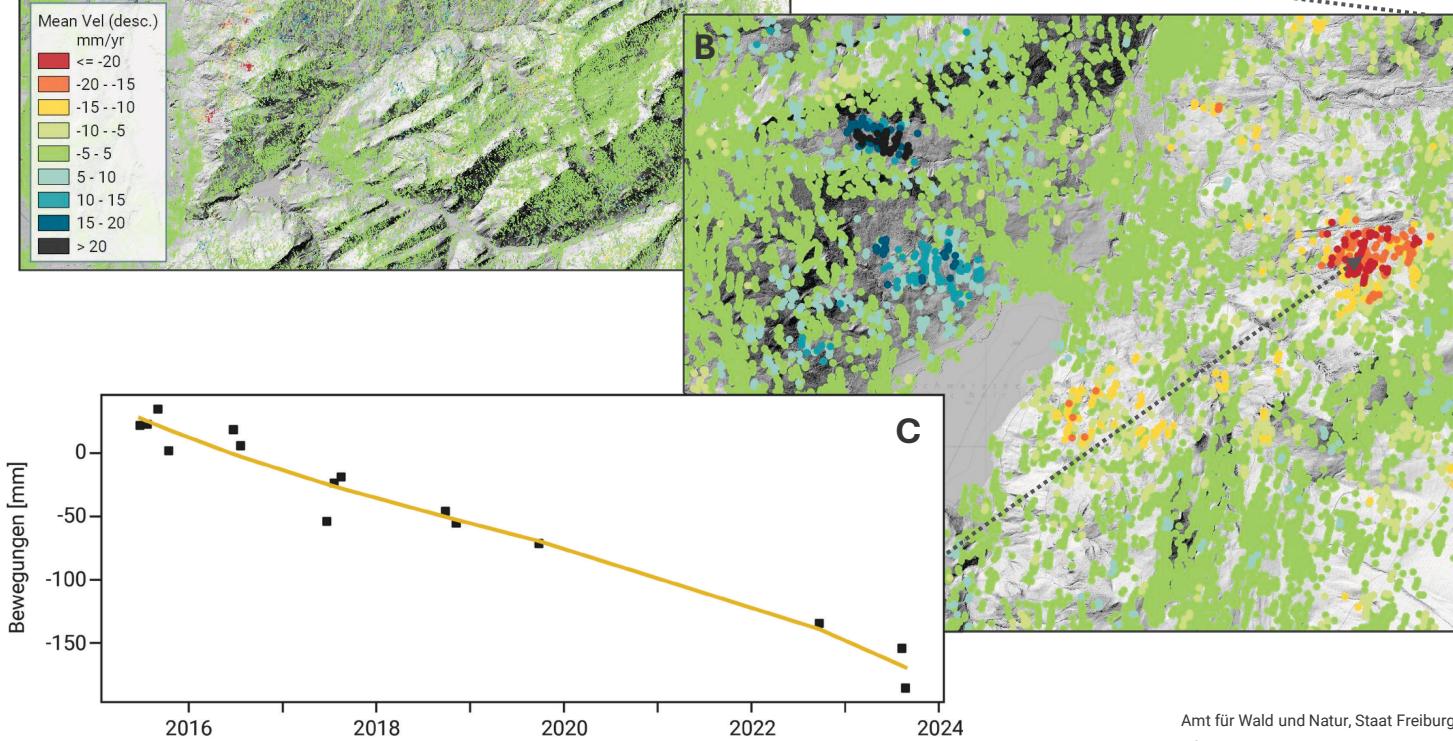


Illustration der Ergebnisse aus der absteigenden Umlaufbahn (ScanSAR) mit den jährlichen Durchschnittsgeschwindigkeiten über Teile der Freiburger Voralpen (A) und einem Zoom auf den Schwarzee (B). Die Grafik in (C) zeigt die Zeitreihe der Verschiebung eines der Reflektoren der Rutschung am Westhang des Schwarzees.



# EMPFEHLUNGEN ZUR NUTZUNG UND DEUTUNG DER MESSUNGEN

## 1. SICH BEWUSST SEIN, WAS MAN MISST UND WAS MAN NICHT MISST

- Die IPTA-Verarbeitung von L-Band-InSAR-Daten ist optimiert für:
  - die Erkennung und Messung von Verschiebungen von grossen, langsamem, permanenten Hangrutschungen sowie von Felsrutschungen und aktiven Sackungen mit Geschwindigkeiten > cm/Jahr.
- Die IPTA-Verarbeitung von L-Band-InSAR-Daten ist jedoch nicht vorgesehen zum Erfassen von:
  - extrem langsam (mit Geschwindigkeiten < cm/Jahr) oder sogar ruhenden Instabilitäten.
  - schnellen, plötzlichen Ereignissen wie spontanen Rutschungen, Hangmuren, Murgängen, Steinschlägen usw.
  - kleinen, nur wenige Quadratmeter grossen Rutschungen.

## 2. AUFSTEIGENDE UND ABSTEIGENDE UMLAUFBAHNEN AUSPROBIEREN

- In der Regel die aufsteigende Umlaufbahn für Osthänge und die absteigende Bahn für Westhänge bevorzugen.
- In einem Gebiet mit Abschattungen oder Überlagerungen die Ergebnisse der anderen Umlaufbahn analysieren.
- Falls eine Rutschung für die allgemein empfohlene Umlaufbahn zu schnell ist, die Ergebnisse der anderen Umlaufbahn prüfen. Diese andere LOS-Bewegung ist oft kleiner und daher messbar.

## 3. GEMESSENE BEWEGUNGEN EINES PIXELS

- Die gemessene Bewegung ist eine Projektion der realen Bewegung auf die Radar-Sichtlinien LOS.
- Bei InSAR-Studien im C-Band entsprechen die Messpixel punktförmigen Streuern wie Gebäuden, Masten, Infrastruktur oder festen natürlichen Objekten wie Felsen.
- Bei InSAR-Studien im L-Band können die Messpixel nicht als einzelne Objekte interpretiert werden, sondern sind vielmehr ein Mass für die durchschnittliche Verschiebung von punktförmigen und diffusen Streuern, die in der Pixelfläche enthalten sind.
- Das Vorhandensein und der genaue Ort eines natürlichen Reflektors wird durch die Datenverarbeitung bestimmt, ohne dass dies immer eindeutig nachvollzogen werden kann. Der gemessene Pixel ist dort, wo er ist.

## 4. ALLGEMEINE REGELN FÜR DIE INTERPRETATION DER MESSUNGEN

- Die Analyse der mittleren Bewegungen einer Gruppe von Streuern bevorzugen und einzelnen Pixeln misstrauen.
- Die Zeitreihe der Bewegungsmessungen analysieren, um sicherzustellen dass:
  - der Trend der Bewegungen über die Zeit kohärent ist.
  - es keine plötzlichen Sprünge in den Bewegungen gibt (die durch ein Verarbeitungsartefakt verursacht werden können).
- Ein Punkt, der mit einer Geschwindigkeit von null gemessen wird, kann verschiedene Ursachen haben:
  - der Bereich ist stabil.
  - die Instabilität ist zu klein, um gemessen zu werden.
  - die tatsächliche Bewegung ist nahe an der Orthogonalität zur LOS (vor allem bei Nord/Süd-Orientierung).
  - die Aktivität findet nur in den Wintermonaten statt, für die keine Daten vorliegen.
  - die Aktivität der Rutschung ist nicht konstant, z.B. mit längeren Ruhephasen und plötzlichen kurzfristigen Beschleunigungen. Solche Bewegungsmuster werden bei der InSAR-Verarbeitung oft gefiltert (besonders wenn es nur wenige Satellitenbilder gibt).
  - in seltenen Fällen bei einer flachen Topografie ohne wesentliche Rauheit und hangparallelen Bewegungen.
- Das Fehlen von Reflektoren bedeutet nicht, dass es keine Bewegungen gibt. Mögliche Gründe für das Fehlen von Streuern sind nämlich:
  - zu langsame oder zu schnelle Geschwindigkeiten oder plötzliche Beschleunigungen.
  - geometrische Verzerrungen durch Überlagerungen und Abschattungen.
  - eine zu stark bewachsene oder zu feuchte Bodenbedeckung oder eine veränderte Bodennutzung.
- Bewegungen, die annähernd orthogonal zur LOS sind, führen zu einer deutlichen Unterschätzung oder sogar Ausblendung der realen Bewegungen. Überprüfen Sie, ob dies in den Untersuchungsgebieten vorkommt.
- Aufgrund dieser grundsätzlichen Einschränkungen reichen InSAR-Studien nicht aus, um ein vollständiges Inventar von Rutschungen in einer Region oder eine lückenlose Überwachung einer Instabilität zu erstellen. Sie sollten als Hilfsmittel für jede Studie betrachtet werden als Ergänzung zu anderen verfügbaren Daten.