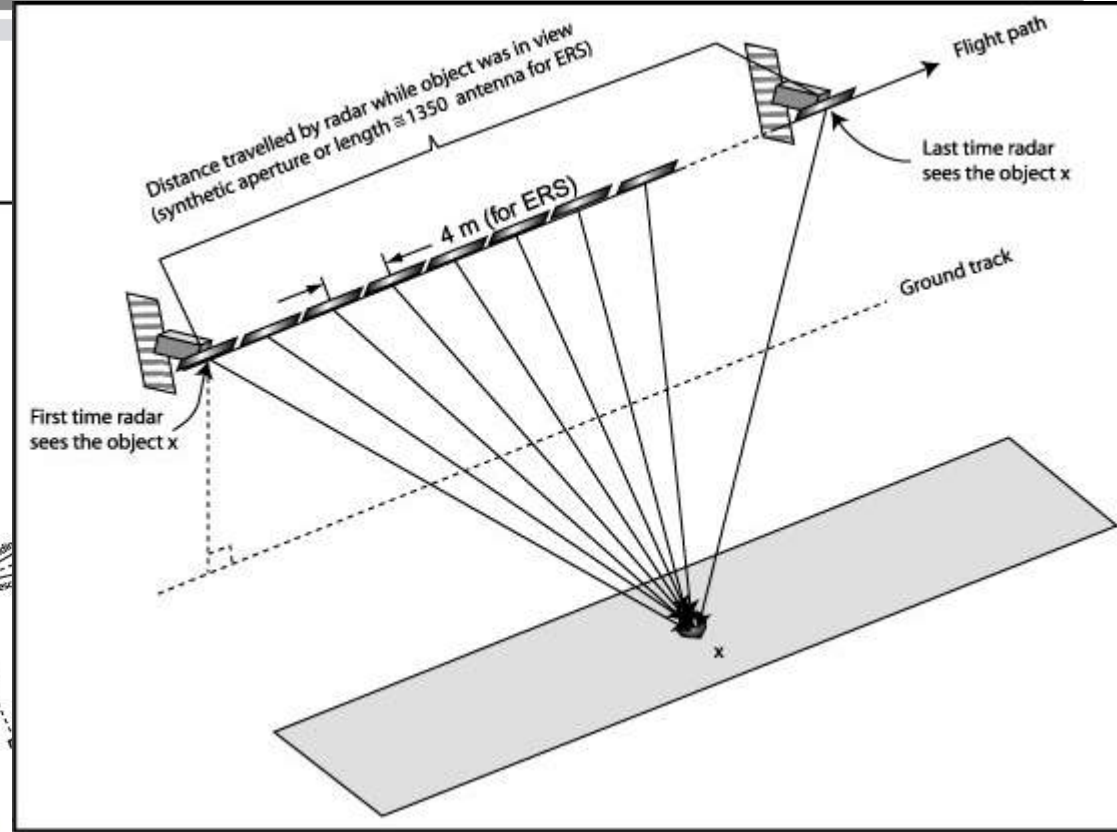
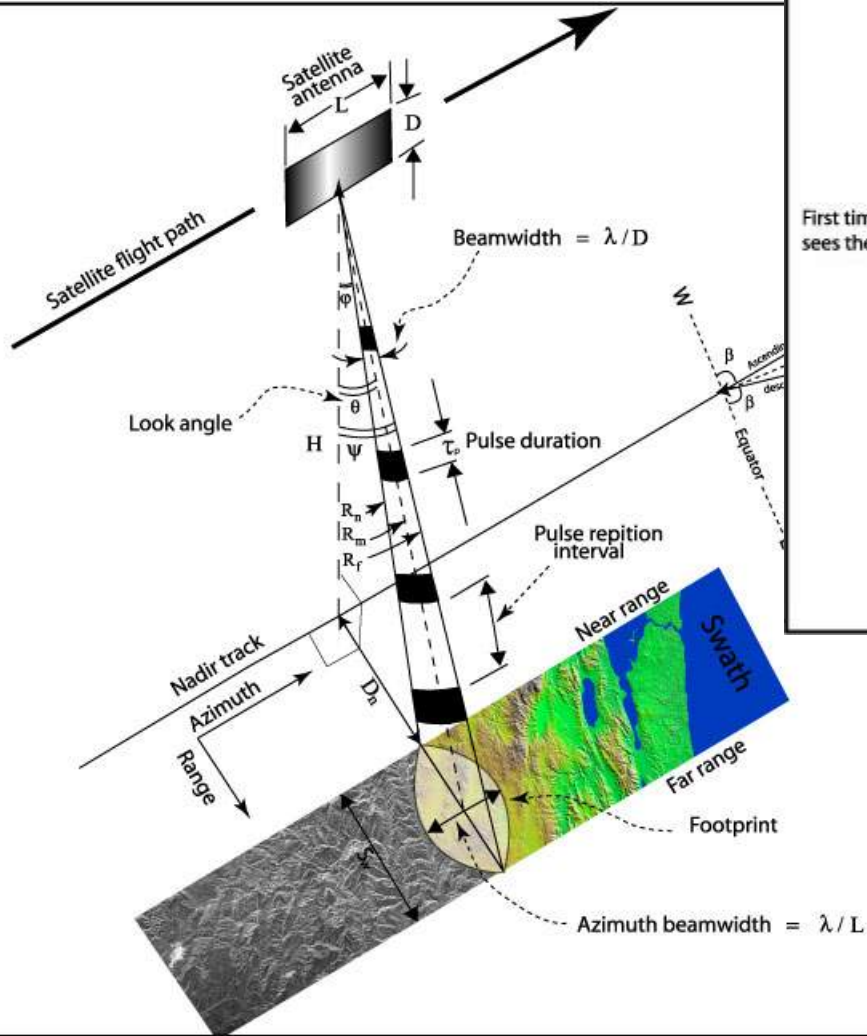
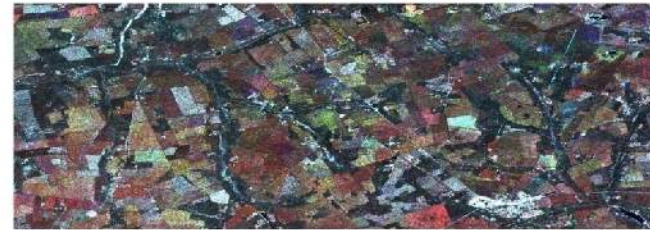
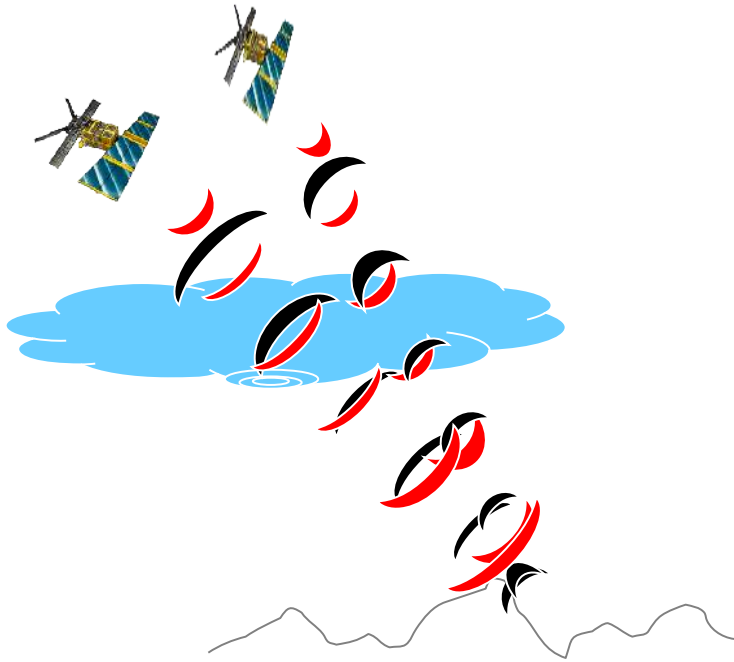


Techniken der Multi-Interferometrie und der Differentialinterferometrie

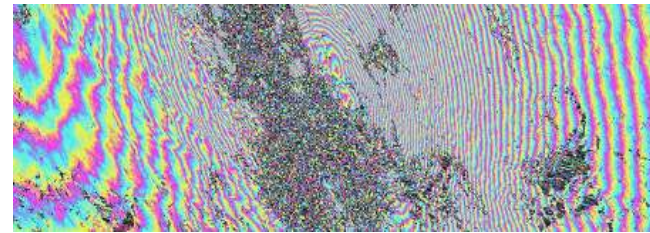
Claudia Notarnicola, Luca Pasolli, Christian lasio

- Grundbegriff über SAR-Sensoren
- Interferometrie und Differentialinterferometrie
- Multitemporale Interferometrie
- Präsentation unterschiedlicher Ansätze: PSInSAR™ und SBAS
- Anwendungsaspekte
- Pro und Kontra der verschiedenen Techniken
- Schlussbemerkungen





SAR Intensität



SAR Interferometrie

Abgeleitete Informationen:
Digitales Höhenmodell
Bewegungs-/Verformungskarten

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{\text{piano}} + \Delta\varphi_{\text{elevazione}} + \Delta\varphi_{\text{movimento}} + \Delta\varphi_{\text{rumore}}$$

$$\frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_n r}{R \tan\theta}$$

$$+\frac{4\pi}{\lambda} d$$

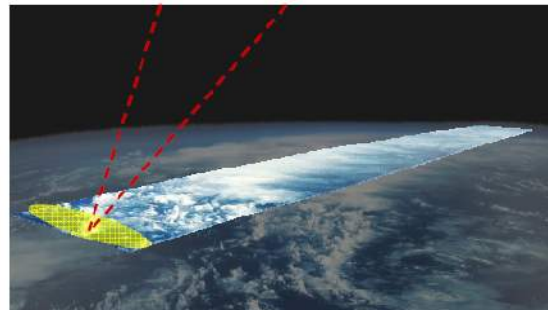
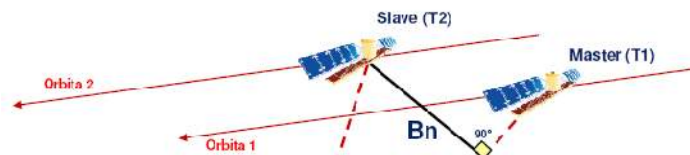
$$-\frac{\Delta q}{\sin\theta} \cdot \frac{B_n}{R_0} \cdot \frac{4\pi}{\lambda}$$

$$\Delta\psi + \Delta\alpha + \text{noise}$$

Wenn die Grundlinie Null ist,
verschwinden die ersten zwei
Terme

Differential phase

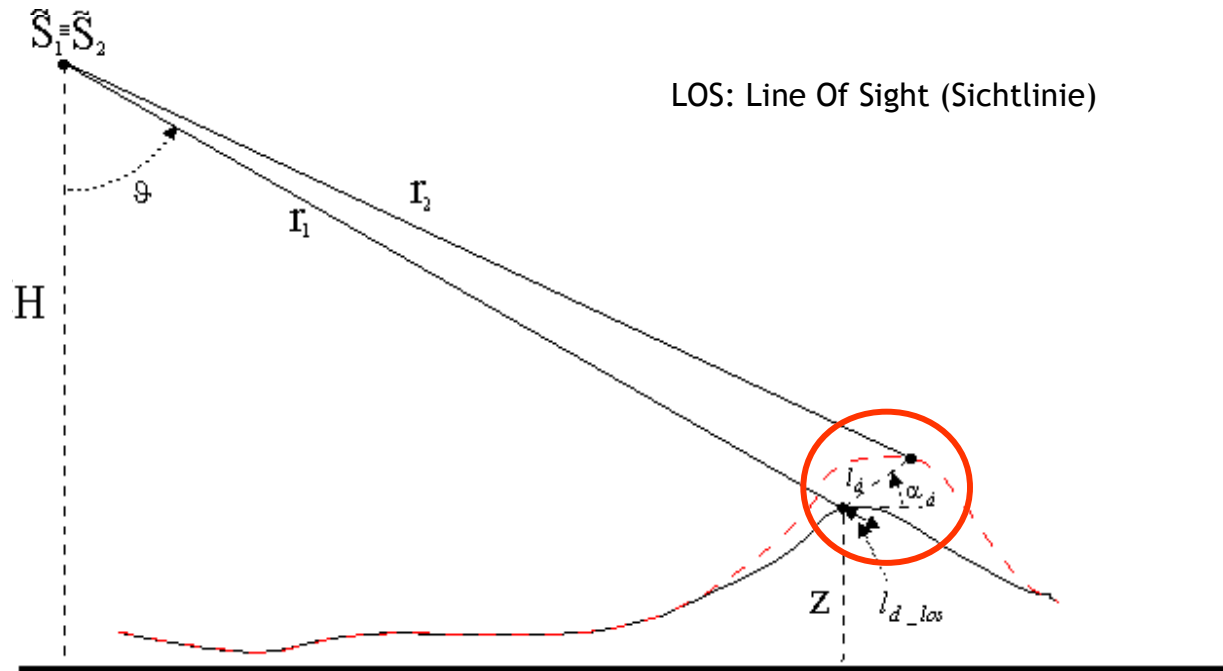
$$\Delta\phi = \Delta\varphi - \Delta\varphi_{\text{elevazione}} - \Delta\varphi_{\text{piano}} = \Delta\varphi_{\text{movimento}} + \Delta\varphi_{\text{rumore}}$$



Messungen von ungefähr $\lambda/100$

- m-Skala für Topographie
- cm-Skala für Bewegungen

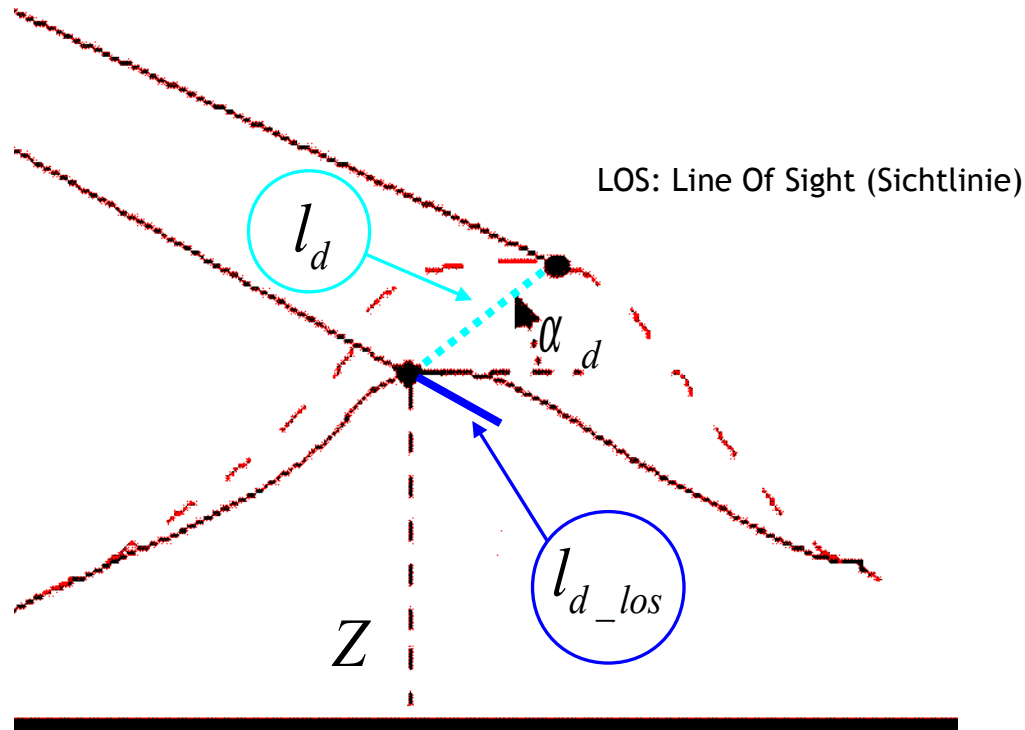
Unterschiedliche Aufnahmezeitpunkte derselben Position (**Idealfall**)



$$\Delta \varphi = \frac{4\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) \approx \frac{4\pi}{\lambda} l_{d_los} = l_d \sin(\vartheta' - \alpha_d) = \varphi_d$$

Deformationsphase

Unterschiedliche Aufnahmezeitpunkte derselben Position (**Idealfall**)



$$\Delta \varphi = \frac{4\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) \approx \frac{4\pi}{\lambda} l_{d_los} = l_d \sin(\vartheta' - \alpha_d) = \varphi_d$$

Deformationsphase

DInSAR-Phase: Realfall

Differentialinterferogramm

Deformation

Residualtopographie

$$\varphi_d(x, r) = \varphi(t_B, x, r) - \varphi(t_A, x, r) \approx$$

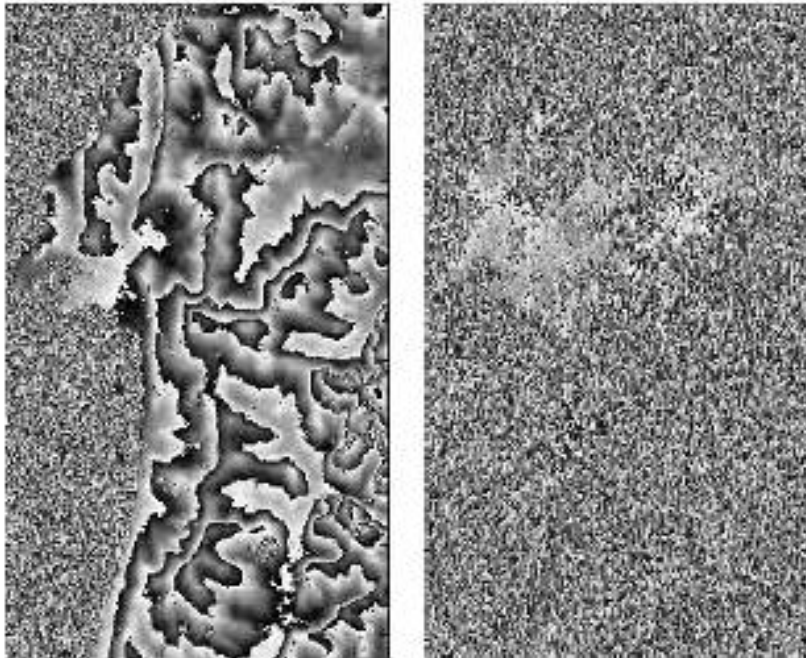
$$\approx \frac{4\pi}{\lambda} \left[d(t_B, x, r) - d(t_A, x, r) \right] + \frac{4\pi}{\lambda} \frac{b_{\perp} \Delta z}{r \sin \vartheta} +$$

$$+ \left[\varphi_{atm}(t_B, x, r) - \varphi_{atm}(t_A, x, r) \right] + \Delta n$$

Residualgeräusch

Atmosphäre und Orbitalfehler

Interferogramm



1 Tag

15 Monate

➤ Vorteile

Hohe räumliche Abdeckung (vs. Nivellierung, GPS, ...)

Niedrige Kosten

Zentimeter- bis Millimetergenauigkeit

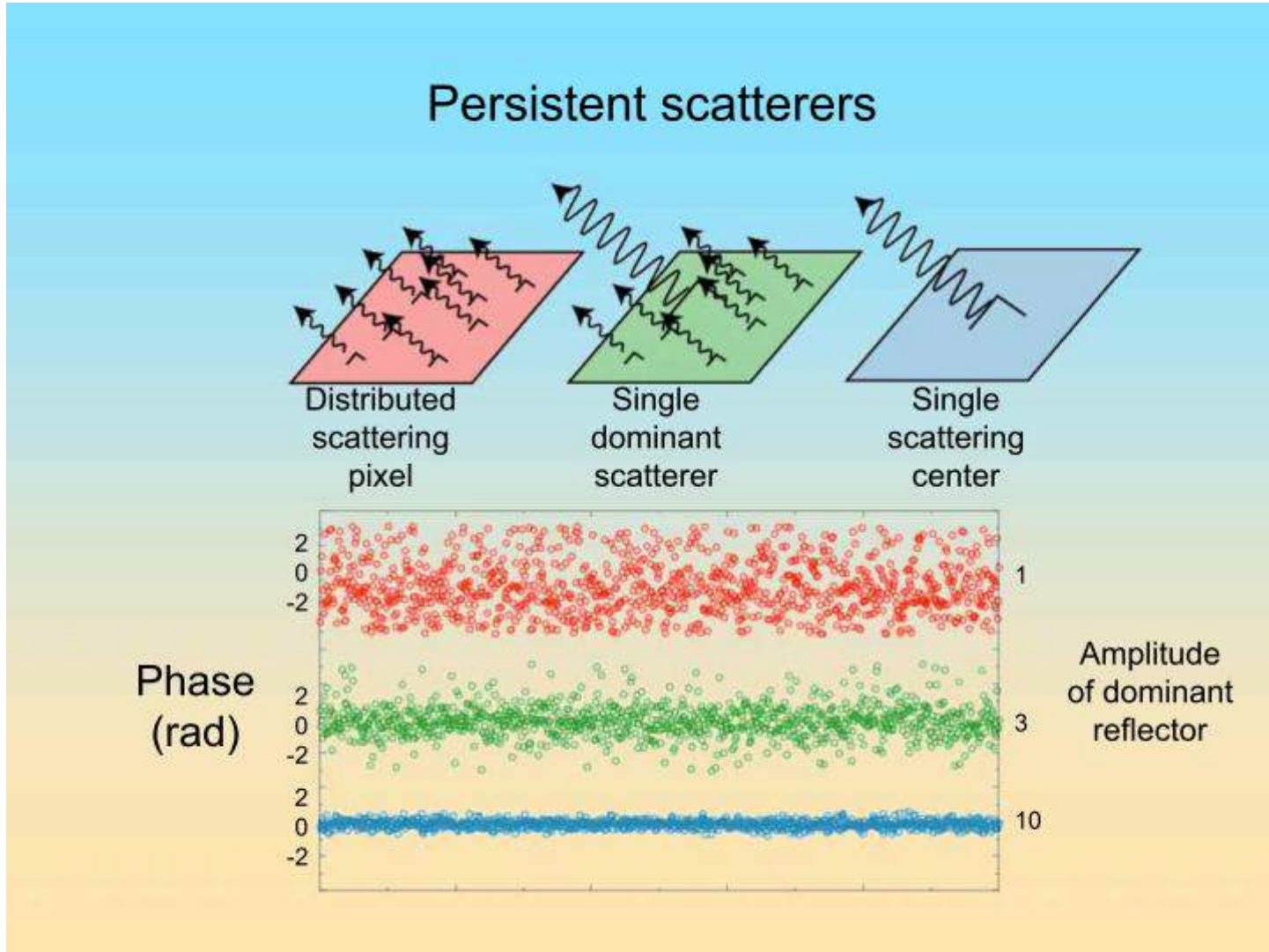
➤ Nachteile

- Dekorrelationseffekt (z. B. Präsenz von Vegetation)
- räumliche und qualitative Messungen
- Unmöglich, zwischen stabilen und unbeständigen Objekten am Boden zu unterscheiden
- Stabile Objekte ändern ihre Reaktion (**Signal**), wenn von verschiedenen Perspektiven betrachtet
- Die Daten können nur benutzt werden, wenn die Grundlinie unter einem gewissen Wert bleibt
- Atmosphärische Artefakte u. andere Faktoren können nicht beseitigt werden und sind von der Bodenverschiebung nicht unterscheidbar



MULTITEMPORALE INTERFEROMETRIE

- Große Grundlinie
 - Permanent Scatterers (PS), POLIMI, Mailand
 - Interferometric Point Target Analysis (IPTA), GAMMA, Schweiz
 - StamPS, Stanford University, Palo Alto
- Kleine Grundlinie
 - Small BAseline Subsets (SBAS), IREA-CNR, Neapel
 - Choerent Pixels Technique (CPT), UPC, Barcelona
- Hybrids
 - SqueeSAR, TRE, Mailand



PSI makes measurements of ground movement on naturally occurring permanent scattering points.

- Persistent Scatterers are features such as the roofs of buildings, metallic structures and prominent natural features.
- In urban areas, there can be as many as 600 persistent scatterers per square kilometers.
- Uniquely, this technique provides the motion history for each individual persistent scatterer.

Removal of atmospheric and topographic influence

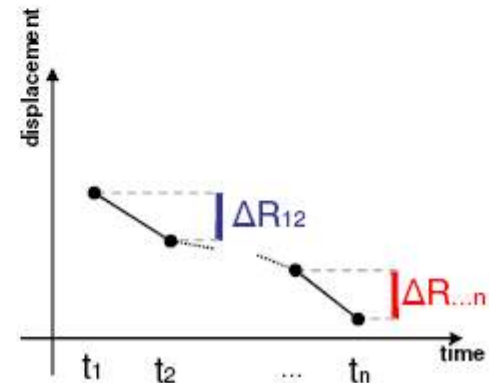
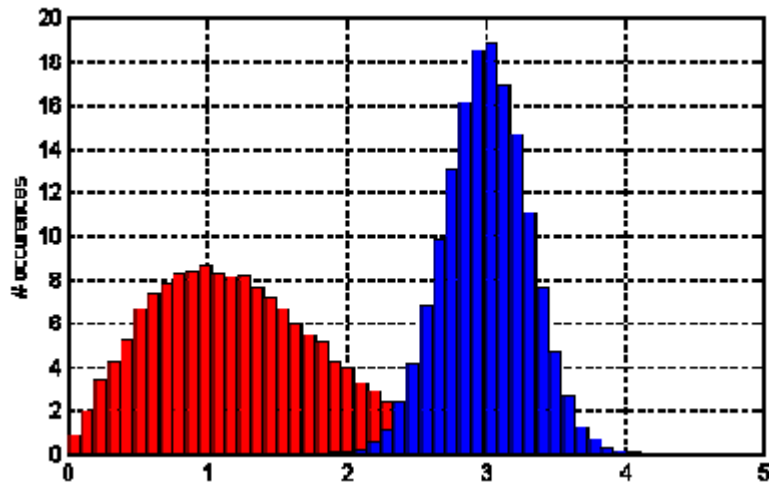
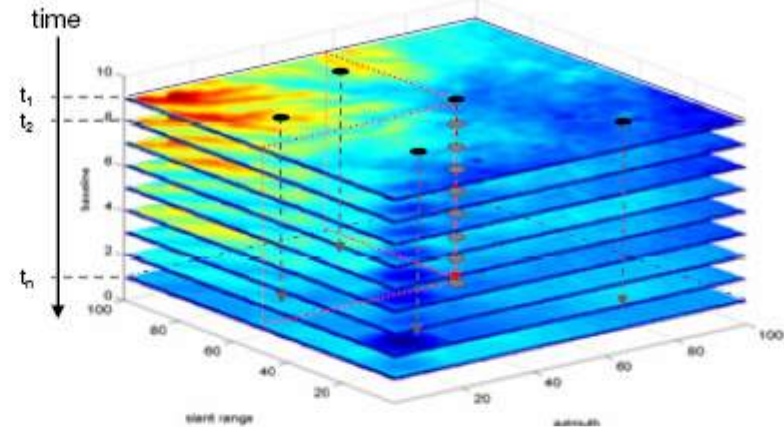
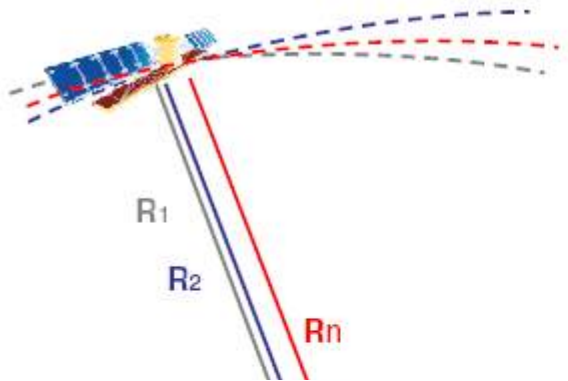
- PSI overcomes atmospheric and topographic induced errors (related to certain weather conditions and DEM accuracy) by utilizing 30 or more scenes to calculate:

An *atmospheric correction*, which is calculated from the 30 scene archive that removes atmospheric artifacts from the interferograms.

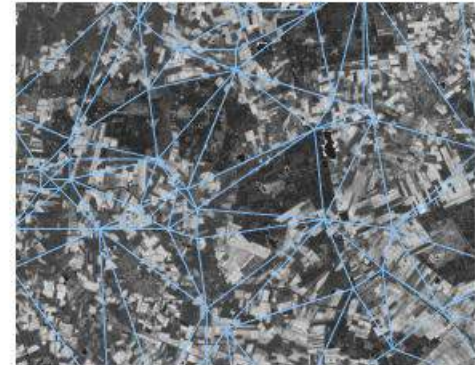
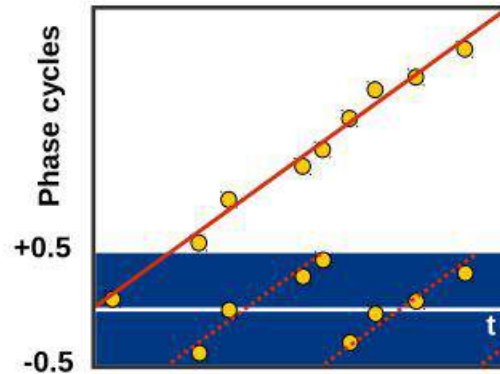
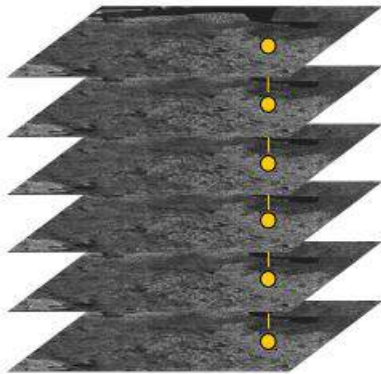
An *accurate DEM* for the measurement points.

PSI is a significant evolution of conventional InSAR whereby:

- A multi-image data set is used
- Atmospheric and orbital errors are essentially removed
- Sub-pixel radar reflections are analyzed
- Linear and non-linear deformation patterns are identified
- Time histories of movement are generated for every radar target



- Multi-pass InSAR time series,
- Select scatterers with high and consistent reflections in time,
- Estimation of deformation and error sources in network of potentially reliable “measurement points”



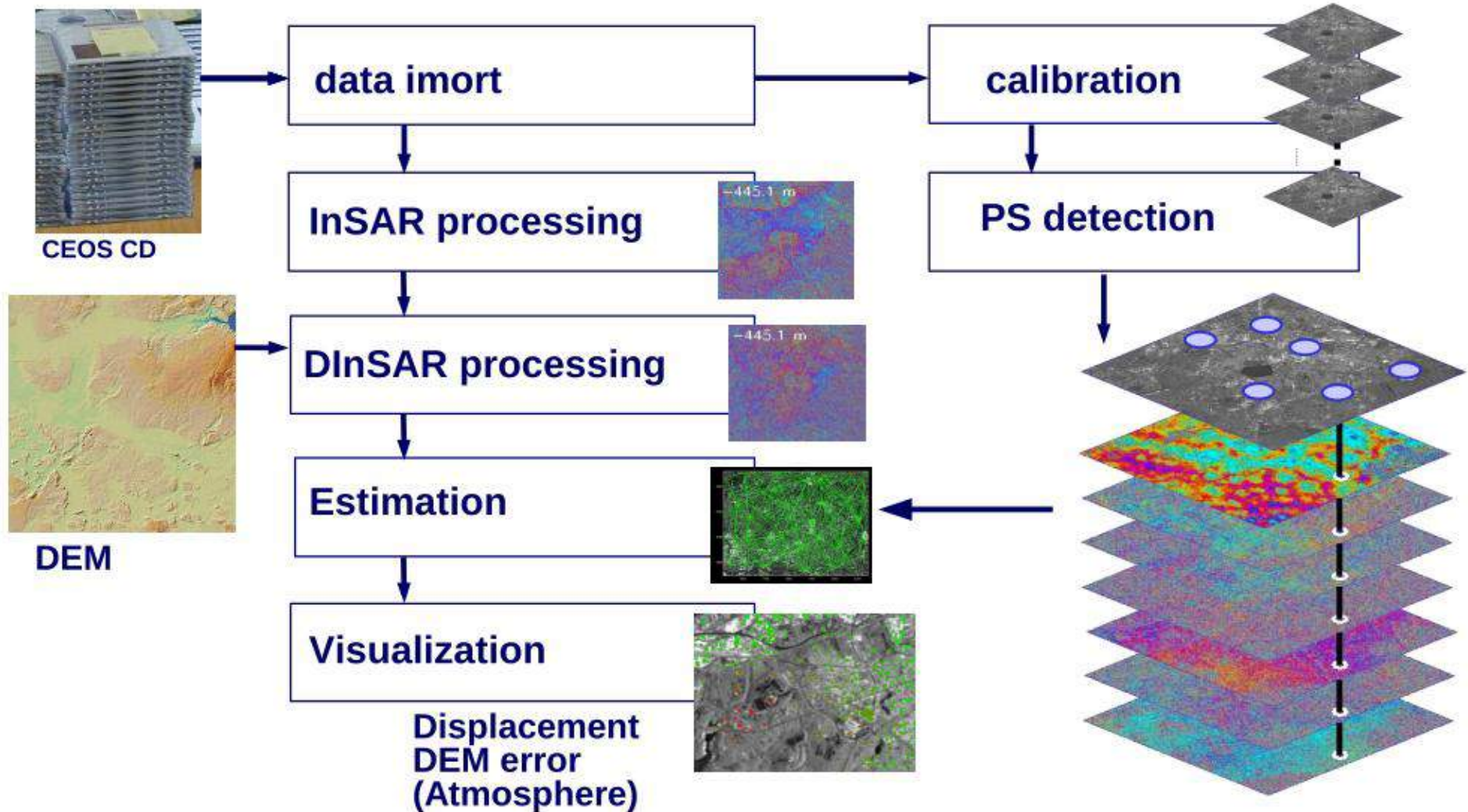
Detect point targets even in largely decorrelated areas:
Persistent Scatterers (PS)

Der atmosphärische Beitrag kann nicht von einem einzigen Paar geschätzt werden

Er wird unter Betrachtung der Phasendifferenz (Phasenverschiebung) von benachbarten Pixeln geschätzt

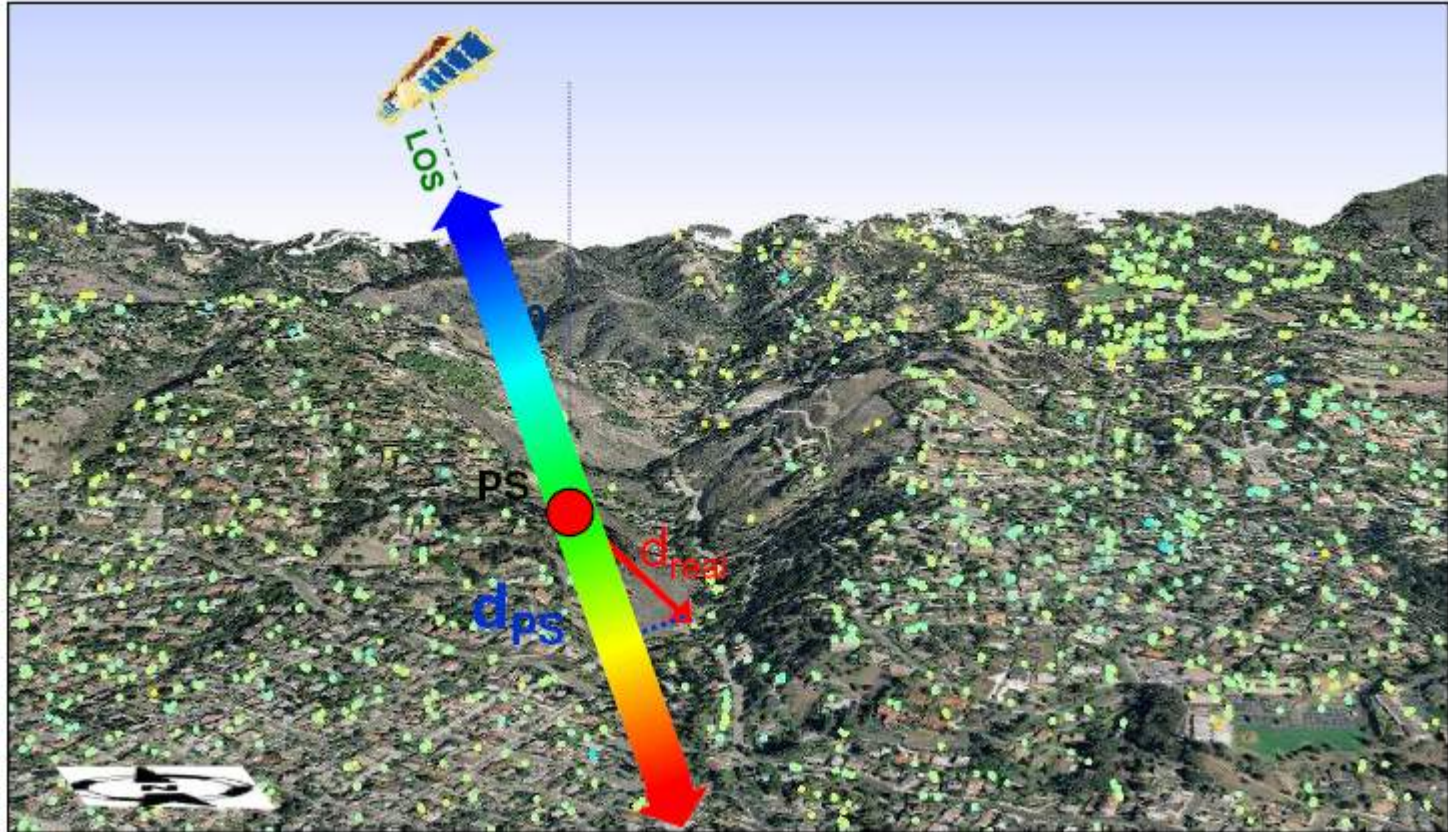
$$\Delta\phi_{1,2}^k = [C_B \cdot B^{(k)} \cdot \Delta\varepsilon_{1,2} + \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \Delta d_{1,2}^{(k)}] + \cancel{C_A^{(k)}} + n$$

Flowchart of the PS technique





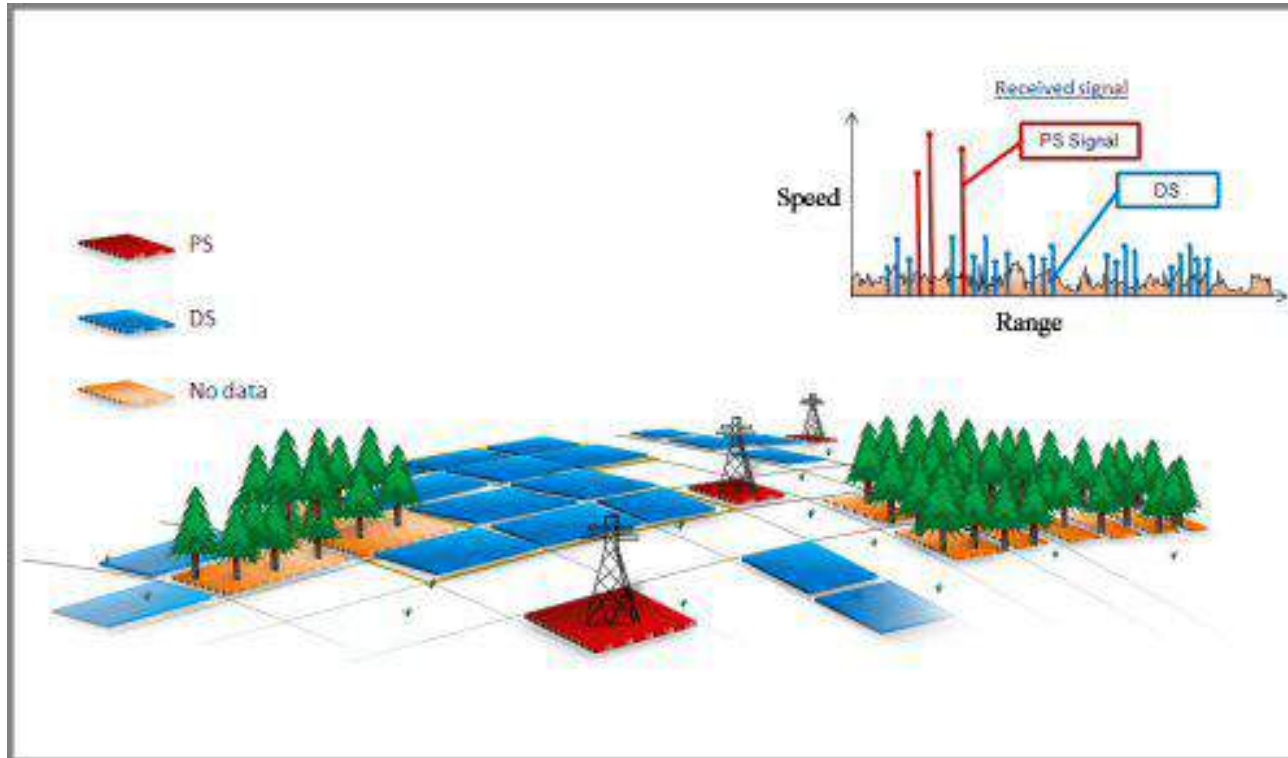
Welche Geschwindigkeit kann durch PS gemessen werden?



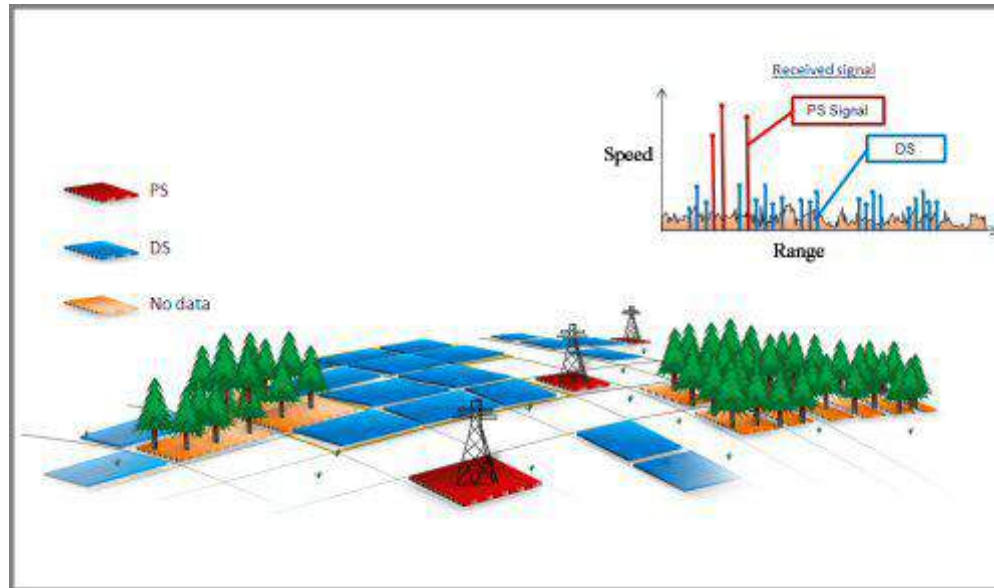
Vorteile	Nachteile
Regelmäßiges und finanziell akzeptables Monitoring großer Gebiete	Vegetationsgebiete beeinträchtigen die Nutzung von PSInSAR
Hohe Dichte der PS (ca. 1000 PS/km ²)	Nicht anwendbar auf kontinuierlichen Flächen
Schnelle Datenverarbeitung/kleiner Bedarf der Endbenutzer	Zeitmessungen sind durch Satellitenüberflüge eingeschränkt
Hohe Genauigkeit	Erfassung von langsamen Verformungen (< 10cm/Jahr) in der LOS-Richtung
Einfacher Export in GIS	

(Ferretti & Crespa, 2006)

SqueeSAR: next step of PSInSAR



SqueeSAR: next step of PSInSAR



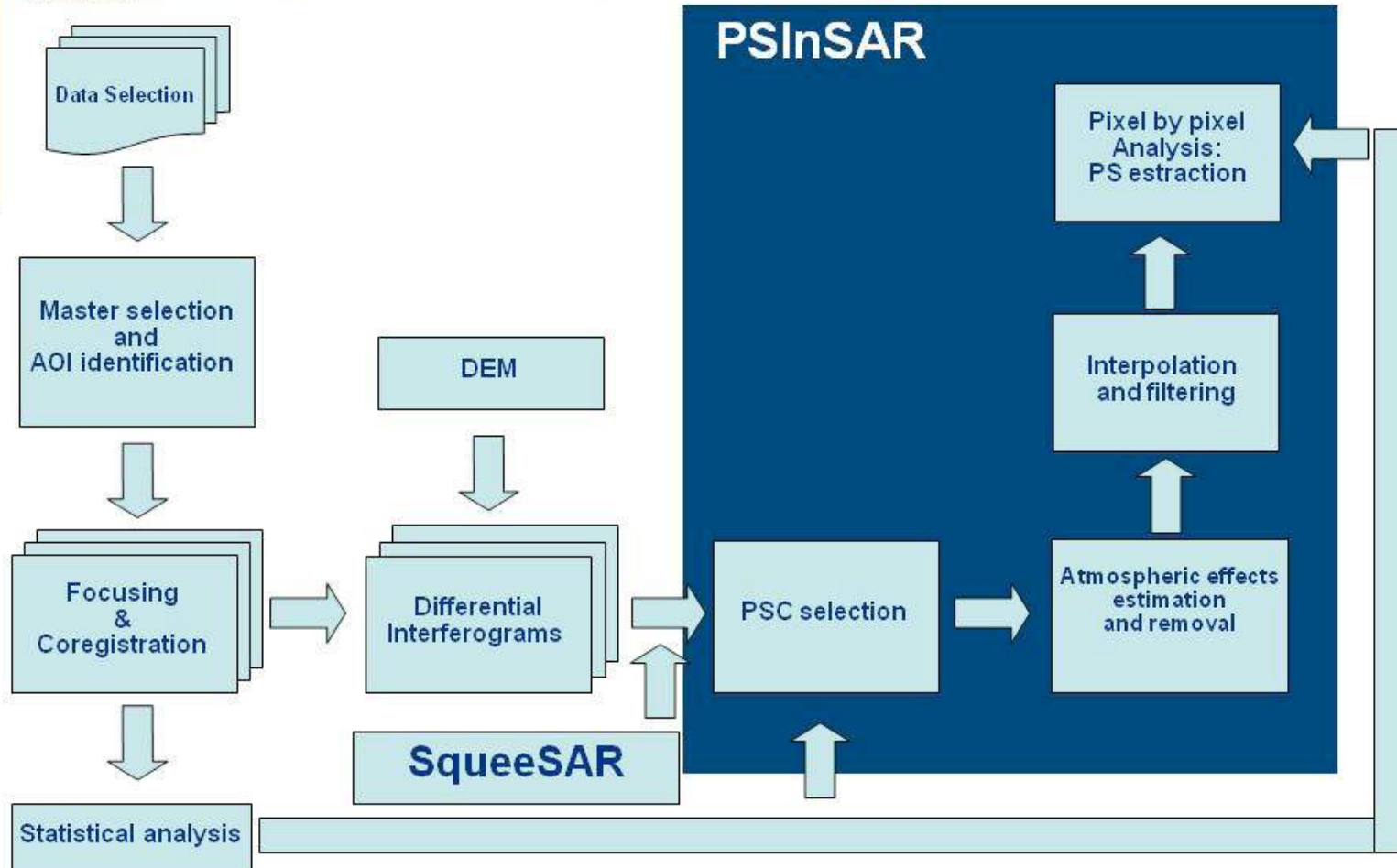
Ground points identified: **PS** and **DS**

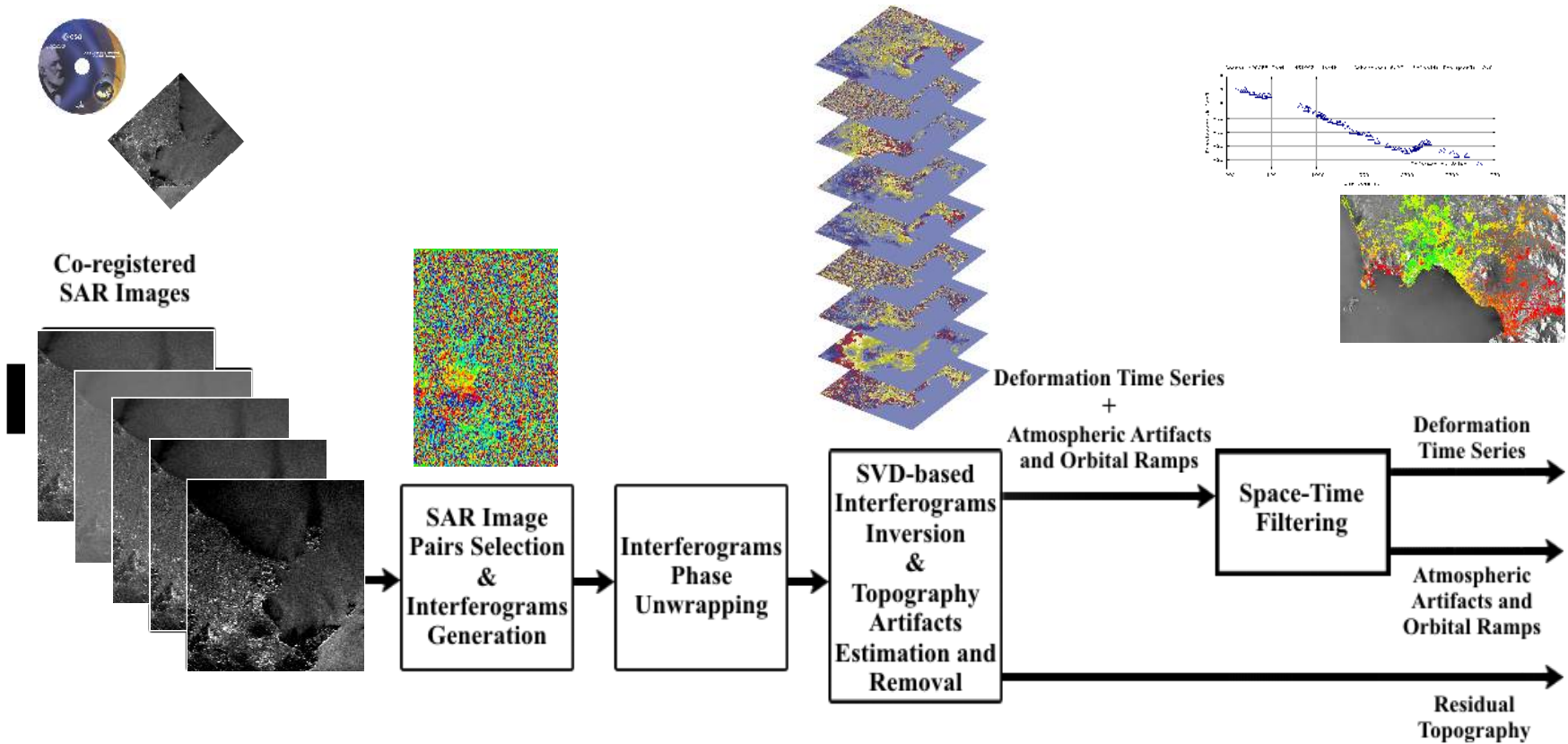
- **High density** of ground measurement points identified in **urban areas** (PS)
- **High density** of ground measurement points identified in **non-urban areas** (PS and DS)
- **Time series** provided for each ground point (PS and DS)
- **Millimetre accuracy** on ground displacement values
- Time series **standard deviation reduces**-i.e. coherence increases and noise decreases
- **Increased confidence on ground behaviour** due to increased coverage of points -especially significant for landslides, outcrops and generic areas with low reflectivity

SqueeSAR™ ist eine fortgeschrittene
PSInSAR™ Analyse zweiter
Generation, die 'punkt-bezogene'
(permanente Steuer PS) und auch
räumlich verteilte Streuer (DS)
ausnutzt

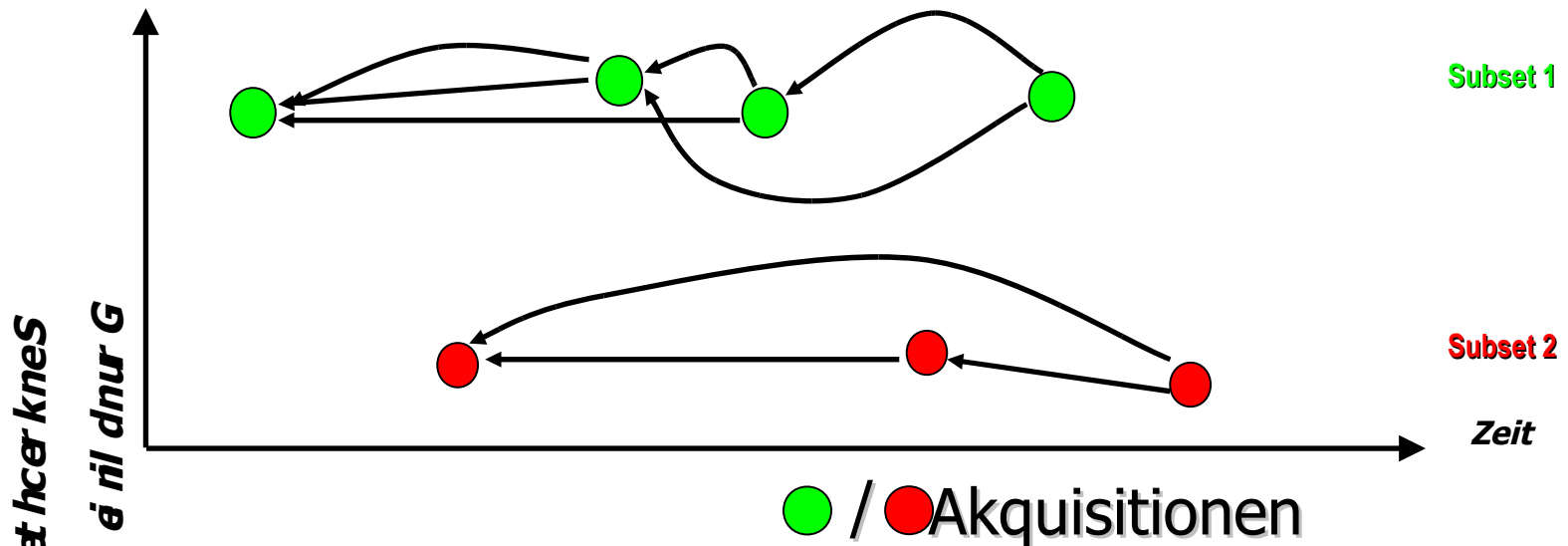


SqueeSAR™ processing chain



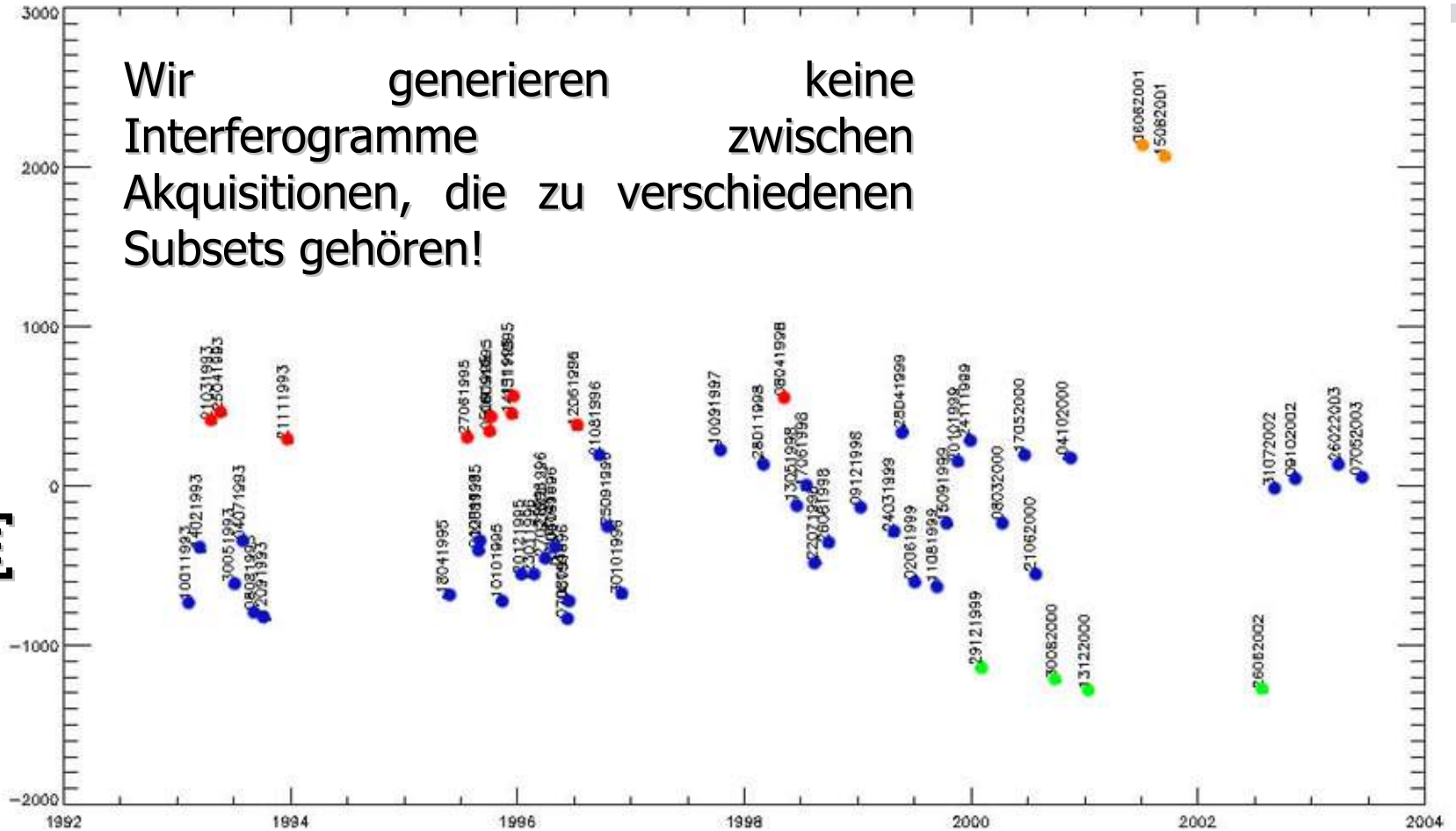


- Zur Erzeugung von Verformungszeitreihen ausgehend von einem SAR-Datenset durch:
- Nutzung von DInSAR-Interferogrammen gekennzeichnet durch eine "kleinen Grundlinie" (kleiner als die kritische Grundlinie) zur Milderung von Dekorrelationsphänomenen;
 - Genaue "Verbindung" von interferometrischen SAR-Datensubsets getrennt durch große Grundlinien. Das wird erreicht durch eine Least-Square-Lösung (LS) mit einem Mindestmaß an Normeinschränkungen, leicht erzielt durch die SVD-Methode.



Wir generieren keine Interferogramme zwischen Akquisitionen, die zu verschiedenen Subsets gehören!

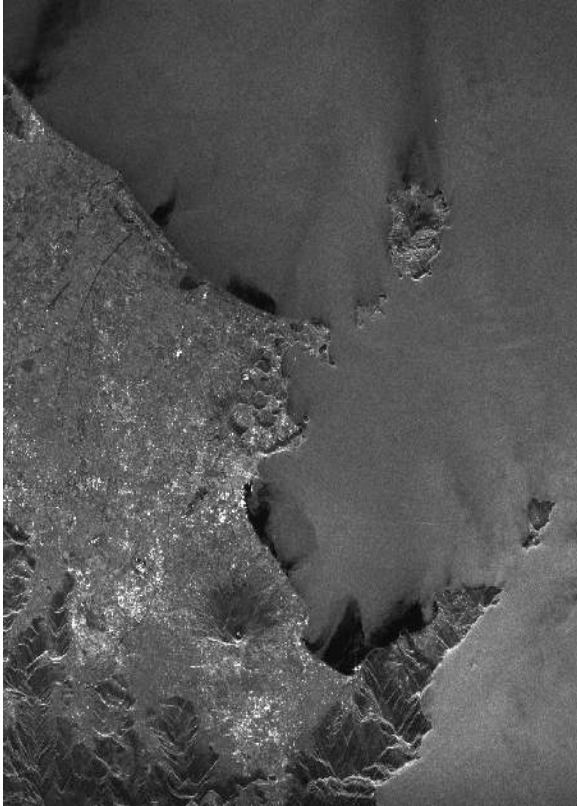
Grundlinie
[m]



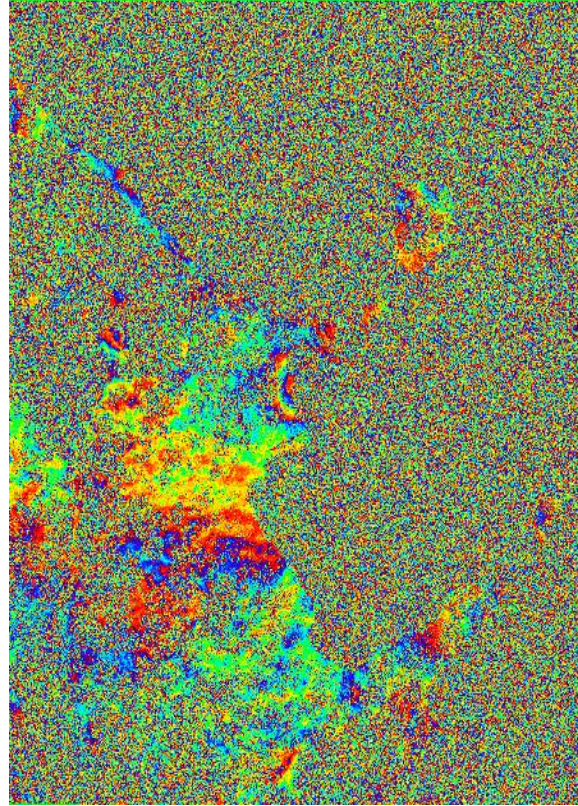
Zeit [Jahre]

Warum eine kleine Grundlinie?

DInSAR-Interferogramme mit kleinen Grundlinien sind von Geräuscheffekten (Dekorrelation) weniger beeinflusst und können leichter verarbeitet werden (Registrierungs- / Abwicklungsschritte).

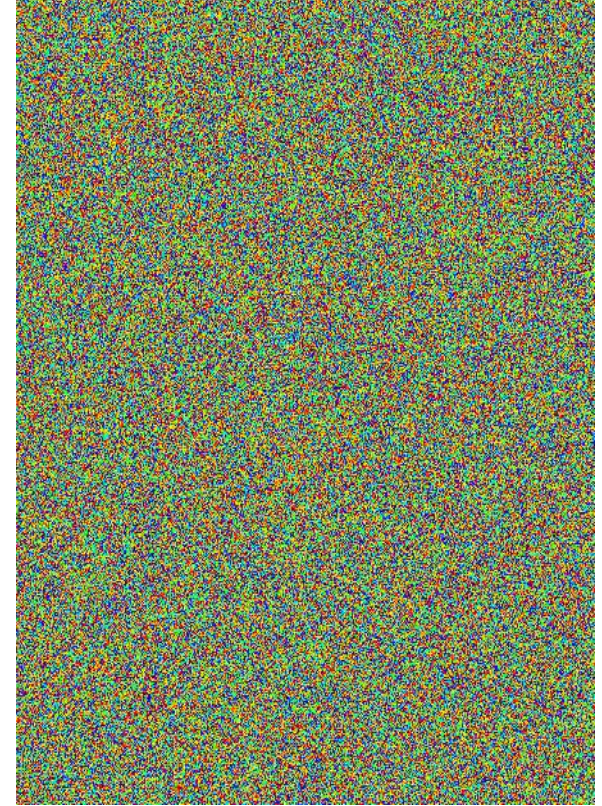


Napoli Bay (ERS Multi-look image)



ERS/2_31/08/1995 - ERS/2_15/08/1996

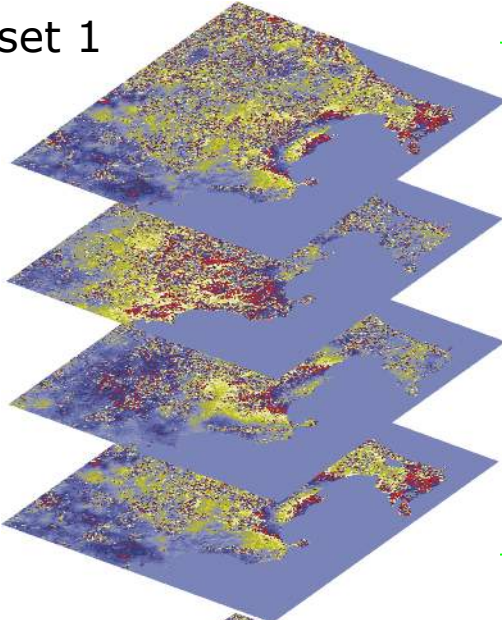
Grundlinie=10 m



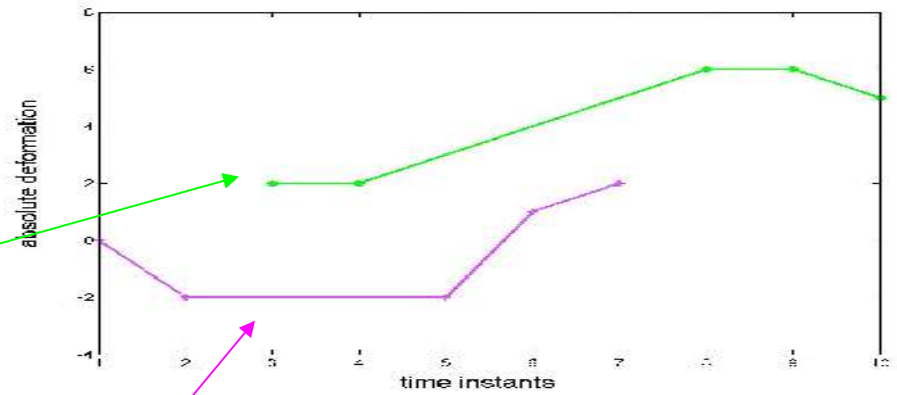
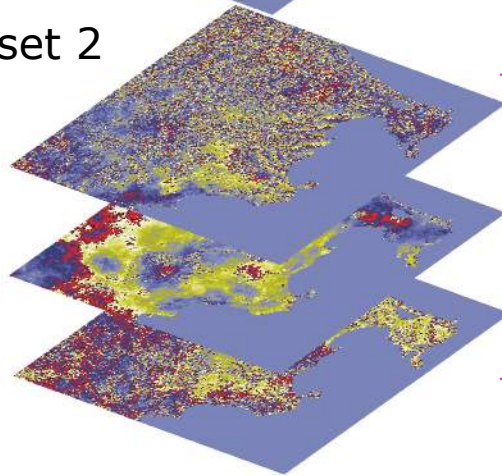
ERS/1_01/05/1996 - ERS/2_15/08/1996

Grundlinie=950 m

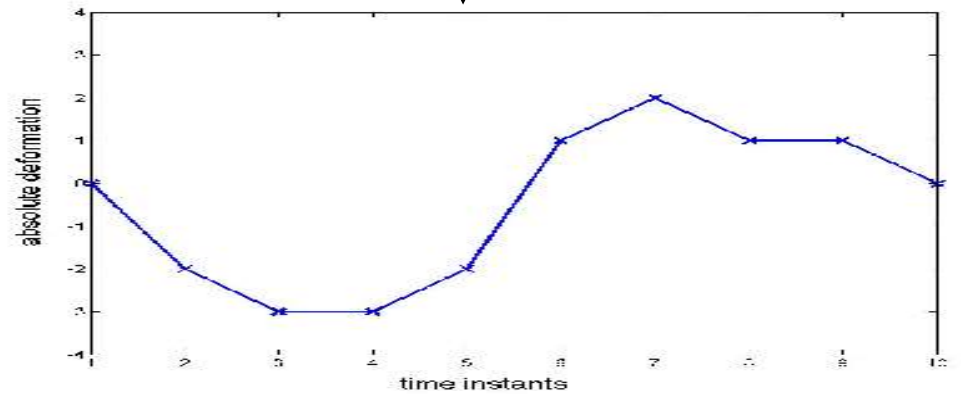
Subset 1



Subset 2



SVD



PsinSAR™-artige Algorithmen

Besser standardisierte Methode

Ergebnisse und
Dokumentation durch
kommerziell standardisierte
Methode (Exklusiv-Patent)

SBAS-artige Algorithmen

Flexibleres Verfahren

Möglichkeit der Überprüfung
individueller Verschiebungen
aufgezeigt in den Zeitreihen

Qualitätskontrolle/Filtern von
Zeitreihen, die von Ausreißern
nicht beeinflusst werden

Multitemporale Methodologien weisen gut bekannte Vorteile gegenüber INSAR-Methoden auf, indem sie gute Ergebnisse liefern, auch wo die DiINSAR nicht erfolgreich sein kann.

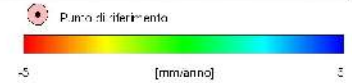
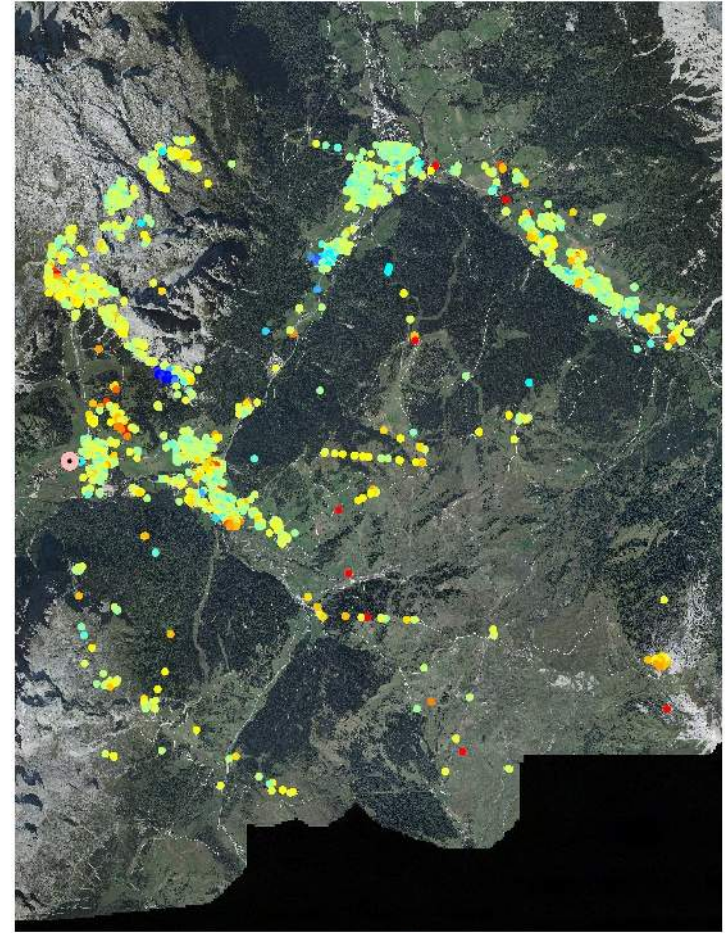
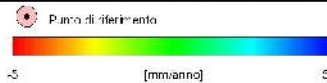
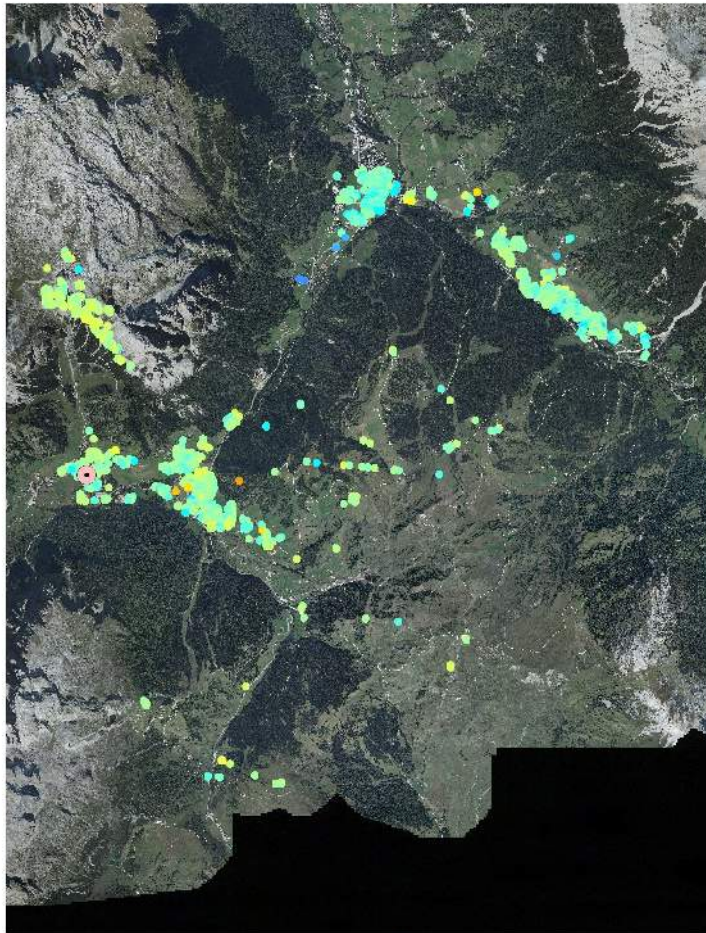
Hauptvorteile

- Hohe Genauigkeit und Fähigkeit, Bewegungen in mm-Skala zu ermitteln, wenn Rückstreuungsmerkmale auf der zu analysierenden Fläche vorhanden sind;
- Homogenes und synchrones Monitoring über weite Gebiete, das konsequente und nützliche Ergebnisse für synoptische Karten über Verformungsquoten liefert;
- Möglichkeit der Vermittlung plötzlicher Verschiebungen in späteren Zeiten;
- Nur Bedarf von passiven Werkzeugen am Feld (keine Energieversorgung, wenige oder keine Wartung, keine Verschmutzungsquelle);
- Möglichkeit, Daten über den Verformungstrend der letzten 20 Jahre durch Benutzung von Archivdaten der SAR-Bilder abzurufen.

Einschränkungen

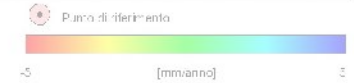
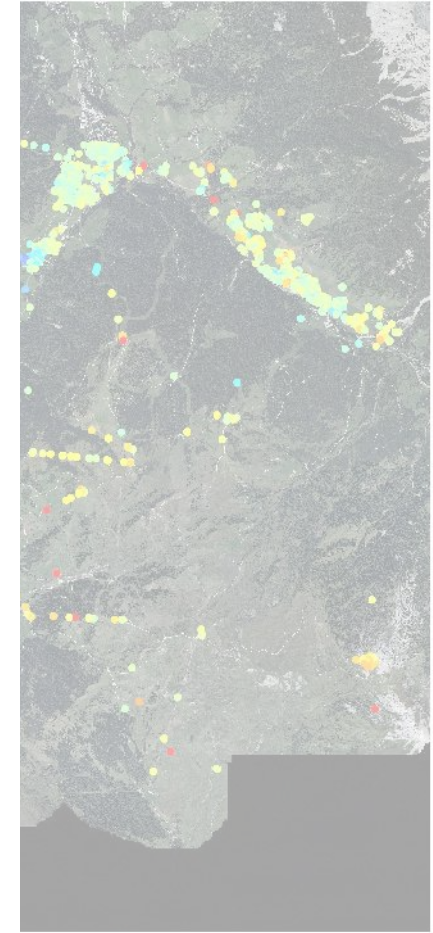
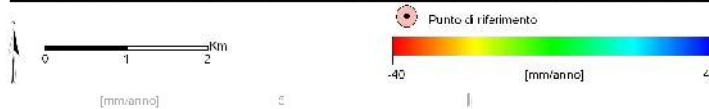
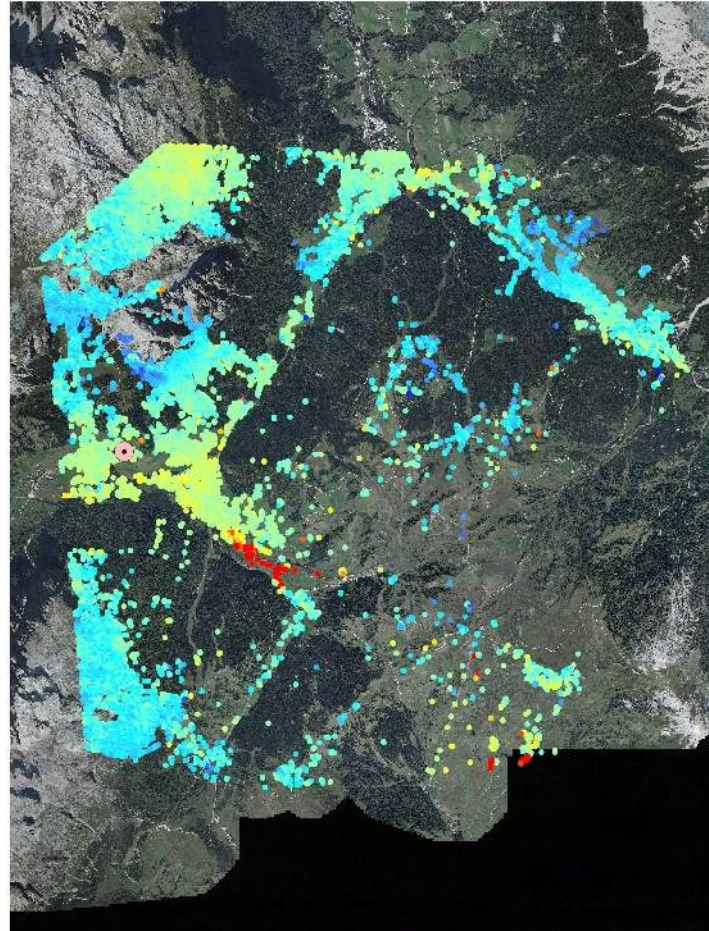
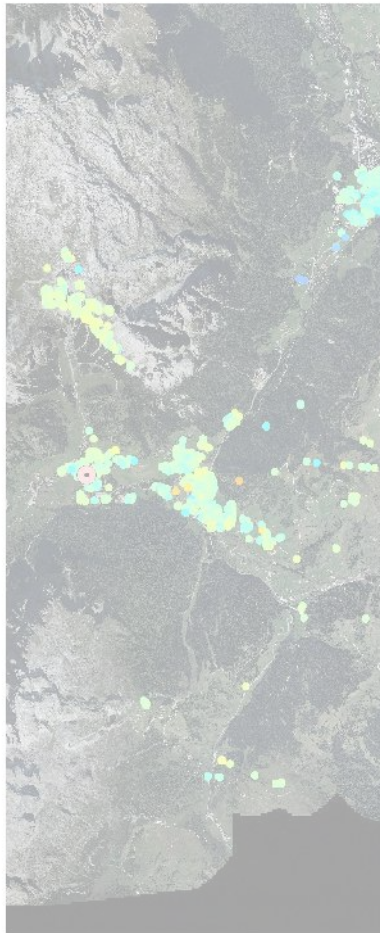
- Begrenzte Anzahl von „natürlichen“ PSs in bestimmten Gebieten (vor allem bewachsen) und der Zeitfrequenz in Beziehung mit den Satellitenüberflügen;
- Unfähigkeit, Verschiebungen (jeglicher Dimension) aufzufinden, die senkrecht zur Sensorsichtlinie auftreten;
- Verzögerte Zeiten abhängig von der Akquisitionsfrequenz und der notwendigen Zeit zur Datenverarbeitung;
- Notwendigkeit eines verfügbaren Bilddatensatzes von mindestens 18 bis 20 Aufnahmezeitpunkten, um den gezeigten Verarbeitungsalgorithmus ausführen zu können, unabhängig vom gewählten Ansatz.

Multi-interferometrische Verarbeitung von C-Band- und X-Band-Daten



Abhängigkeit vom SAR-Sensor

Multi-interferometrische Verarbeitung von C-Band- und X-Band-Daten

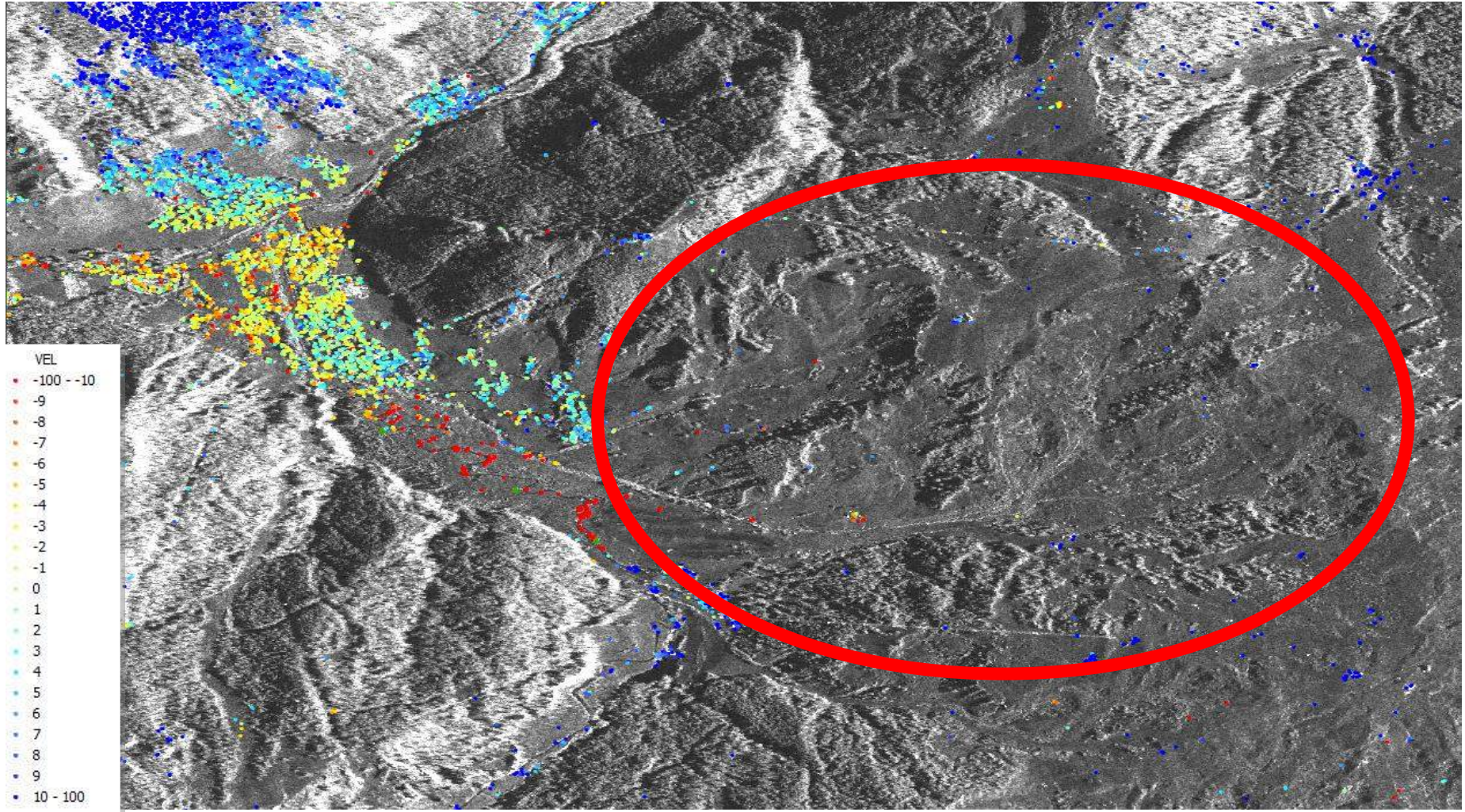


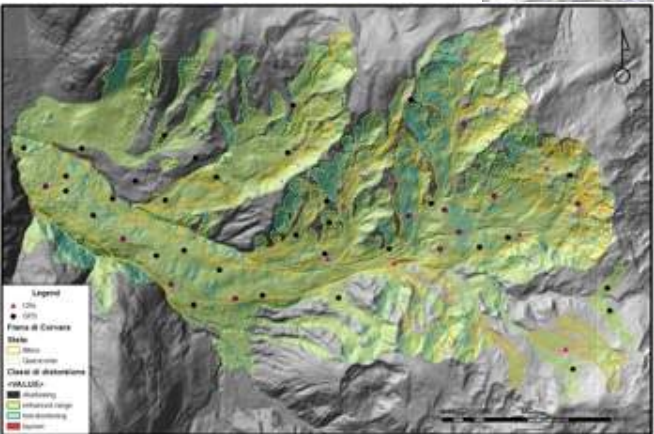
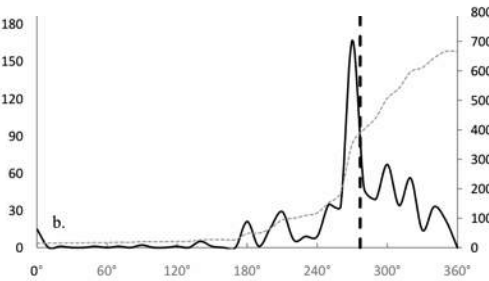
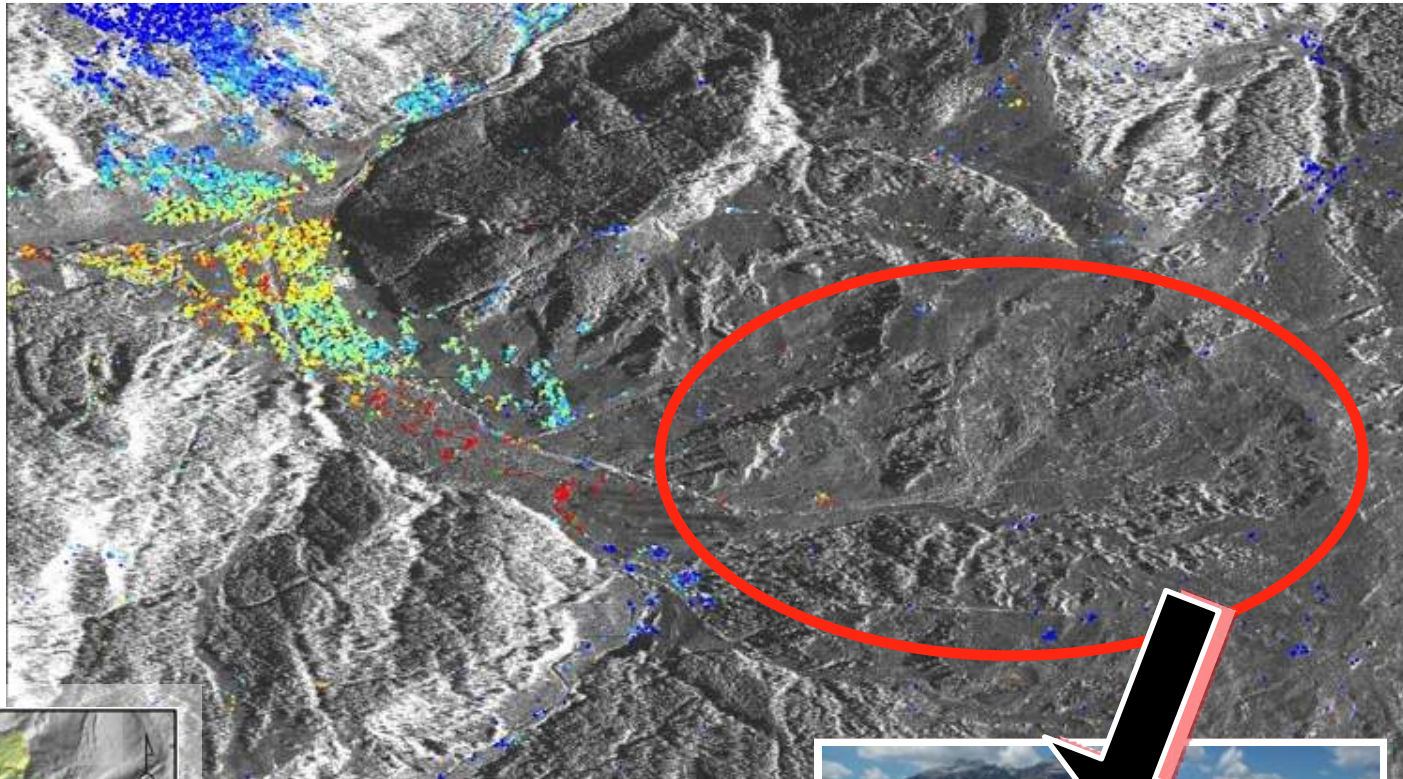
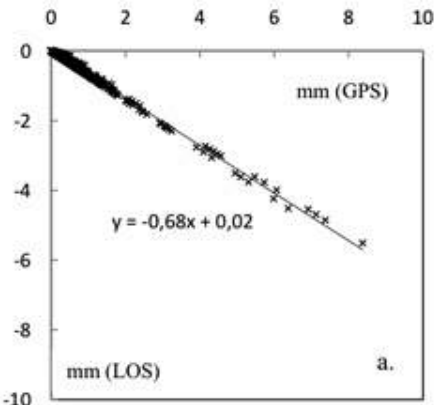
Vergleich von Streuern ermittelt durch SqueeSAR-Verarbeitung diverser SAR-Quellen

	ENVISAT	RADARSAT-1	COSMO-SkyMed
Umlaufbahn	Absteigend		
Polarisation	HH		
Mode	Stripmap IS2	Single S3	Stripmap Himage
Auflösung	30m	25m	3m
Einstrahlwinkel	24.27	34.05	45.77
Bilderanzahl	35	40	38
Zeitabstand	6/1/2003 - 6/9/2010	25/3/2003 - 9/3/2006	24/5/2010 - 17/09/2011
Durchschn. Zeitabstand	70 Tage	24 Tage	8 Tage
AOI ext.	51 km ²		
Geokodierung ref.	Luft-Orthophoto		
PS Verarbeitung	SqueeSAR™		
Mess.-Punkte	1,909	2,062	403.549

Steigende Anzahl von PS

Kritischer Mangel an natürlichen Streuern im obersten Teil des Erdrutsches





Stripmap HIMAGE: HH
 Order type: Tasking
 Standard Processing Level 1A - SCSB
 Product format: HDF5
 Near incidence angle: 400.0
 Far incidence angle: 470.0
 Look side: RIGHT
 Orbit direction: DESCENDING
 Acquisition type: PERIODIC
 Granularity: 8

