

Geodätische Woche 2015

Differentielle Radarinterferometrie (D-InSAR) zur Erstellung von Deformationszeitreihen in der Niederrheinischen Bucht

Christina Esch¹, Karlheinz Gutjahr², Ina Loth¹,
Wolf-Dieter Schuh¹

¹Institut für Geodäsie und Geoinformation, Theoretische Geodäsie,
Universität Bonn

²Joaneum Research, DIGITAL Institute for Information and Communication
Technologies, Graz

Stuttgart, 15. Sep. 2015

Niederrheinische Bucht:

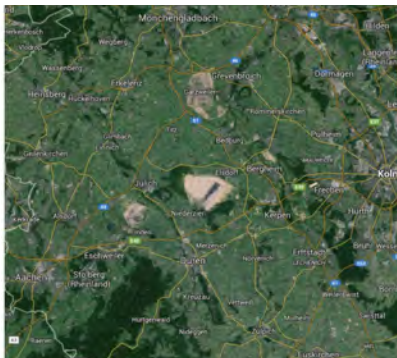
- ▶ Südwesten von NRW
 - ▶ Aachen - Köln
 - ▶ Mönchengladbach - Euskirchen



www.commonswiki.com

Niederrheinische Bucht:

- ▶ Südwesten von NRW
 - ▶ Aachen - Köln
 - ▶ Mönchengladbach - Euskirchen
- ▶ Braunkohlerevier
 - ▶ Tagebau: Garzweiler, Hambach und Inden



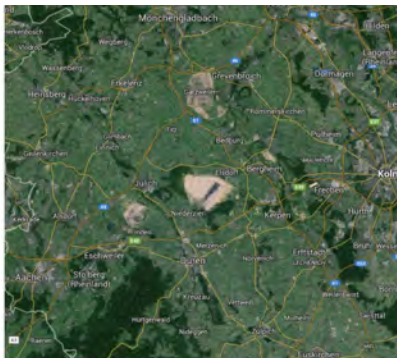
www.maps.google.de

Niederrheinische Bucht:

- ▶ Südwesten von NRW
 - ▶ Aachen - Köln
 - ▶ Mönchengladbach - Euskirchen
- ▶ Braunkohlerevier
 - ▶ Tagebau: Garzweiler, Hambach und Inden



www.fotocommunity.com



www.maps.google.de

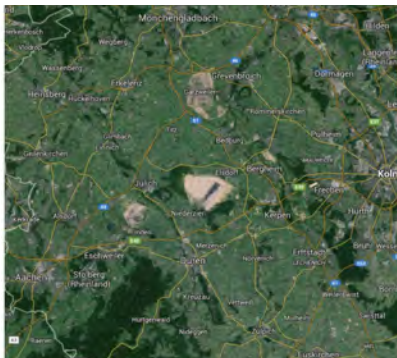
- ▶ Grundwasserabsenkung für den Abbau unabdingbar
→ Bodensenkungen (einige cm/yr)

Niederrheinische Bucht:

- ▶ Südwesten von NRW
 - ▶ Aachen - Köln
 - ▶ Mönchengladbach - Euskirchen
- ▶ Braunkohlerevier
 - ▶ Tagebau: Garzweiler, Hambach und Inden



www.fotocommunity.com



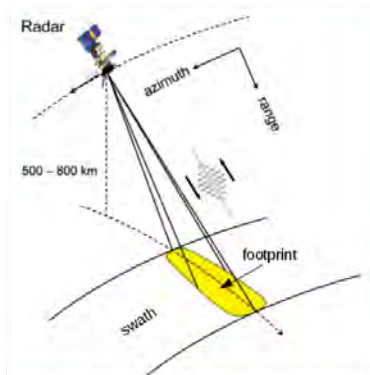
www.maps.google.de

- ▶ Grundwasserabsenkung für den Abbau unabdingbar
→ Bodensenkungen (einige cm/yr)

Ziel: Erstellung von Deformationszeitreihen mit Radar-Daten

-
-
-
-
-
-

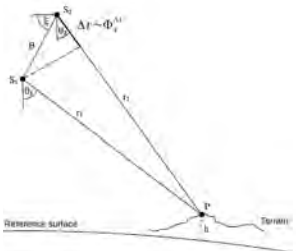
Was ist Radar?



Bamler et al. 2008, p. 243

Grundprinzip:

- ▶ Satellitenbasiertes Fernerkundungsverfahren
- ▶ Aktiv: Aussenden von elektromagnetischen Wellen
- ▶ Seitensicht radar
- ▶ Empfang des zurückgestreuten Signals:
 - ▶ Amplitude A_x^t
 - ▶ Phase ψ_x^t

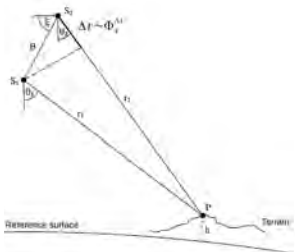


Schwäbisch 1995, p. 14

Grundprinzip:

- ▶ Zweite Aufnahme zur räumlichen Erfassung
- ▶ Messung ist die interferometrische Phase $\psi_x^{\Delta t}$



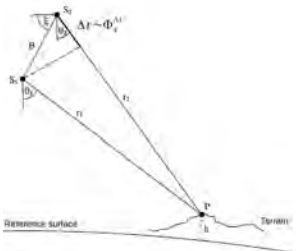


Schwäbisch 1995, p. 14

Grundprinzip:

- ▶ Zweite Aufnahme zur räumlichen Erfassung
- ▶ Messung ist die interferometrische Phase $\psi_x^{\Delta t}$
- ▶ Phase ist die Summe mehrerer Effekte:

$$\psi_x^{\Delta t} = \phi_{x,topo}^{\Delta t} + \phi_{x,defo}^{\Delta t} + \phi_{x,noise}^{\Delta t} - 2\pi k + \dots$$

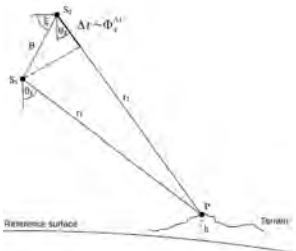


Schwäbisch 1995, p. 14

Grundprinzip:

- ▶ Zweite Aufnahme zur räumlichen Erfassung
- ▶ Messung ist die interferometrische Phase $\psi_x^{\Delta t}$
- ▶ Phase ist die Summe mehrerer Effekte:

$$\psi_x^{\Delta t} = \phi_{x,topo}^{\Delta t} + \phi_{x,defo}^{\Delta t} + \phi_{x,noise}^{\Delta t} - 2\pi k + \dots$$



Schwäbisch 1995, p. 14

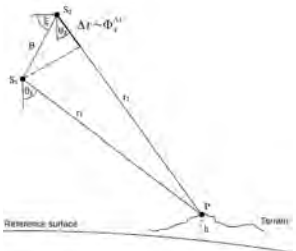
Grundprinzip:

- ▶ Zweite Aufnahme zur räumlichen Erfassung
- ▶ Messung ist die interferometrische Phase $\psi_x^{\Delta t}$
- ▶ Phase ist die Summe mehrerer Effekte:

$$\psi_x^{\Delta t} = \phi_{x,topo}^{\Delta t} + \phi_{x,defo}^{\Delta t} + \phi_{x,noise}^{\Delta t} - 2\pi k + \dots$$

- ▶ Reduktion der Topographie (digitales Höhenmodell)

$$\psi_x^{\Delta t} - \hat{\phi}_{x,topo}^{\Delta t} = \phi_{x,defo}^{\Delta t} + \phi_{x,noise}^{\Delta t} - 2\pi k + \dots$$



Schwäbisch 1995, p. 14

Grundprinzip:

- ▶ Zweite Aufnahme zur räumlichen Erfassung
- ▶ Messung ist die interferometrische Phase $\psi_x^{\Delta t}$
- ▶ Phase ist die Summe mehrerer Effekte:

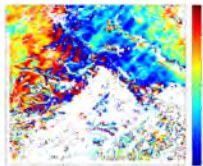
$$\psi_x^{\Delta t} = \phi_{x,topo}^{\Delta t} + \phi_{x,defo}^{\Delta t} + \phi_{x,noise}^{\Delta t} - 2\pi k + \dots$$

- ▶ Reduktion der Topographie (digitales Höhenmodell)

$$\psi_x^{\Delta t} - \hat{\phi}_{x,topo}^{\Delta t} = \phi_{x,defo}^{\Delta t} + \phi_{x,noise}^{\Delta t} - 2\pi k + \dots$$

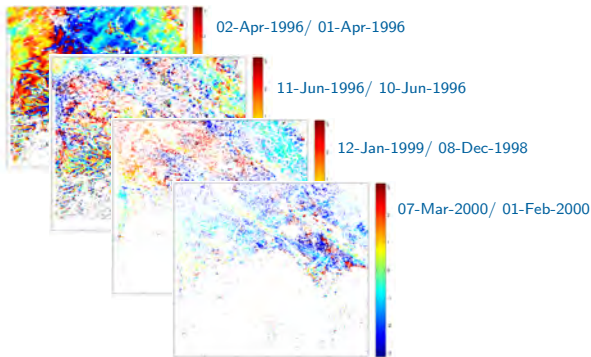
- ▶ Rauschunterdrückung durch Nutzung stabiler Rückstreuer (kohärente Pixel)

- **Ziel:** Erstellung von Deformationszeitreihen in der Niederrheinischen Bucht



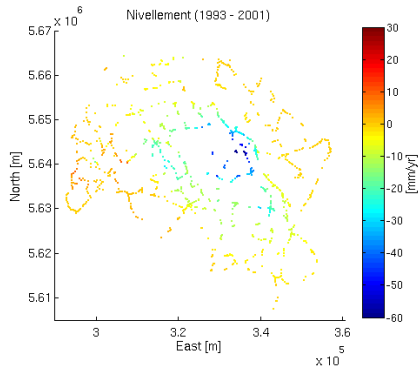
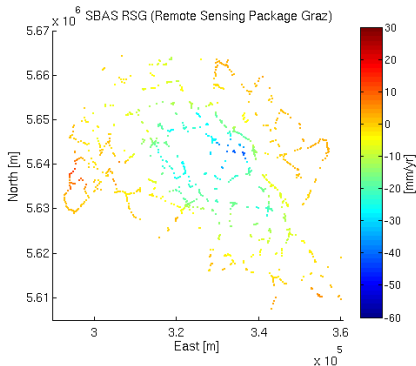
02-Apr-1996/ 01-Apr-1996

- ▶ **Ziel:** Erstellung von Deformationszeitreihen in der Niederrheinischen Bucht

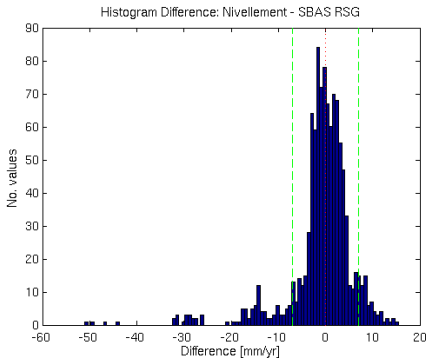
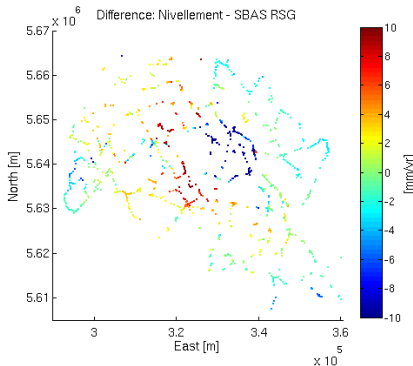


- ▶ **Daten:** 71 SAR Bilder, 191 D-InSAR Bilder von 1992-2000
- ▶ **Methode:** Small Baselines Subsets (SBAS-) Methode (Berardino et al., 2002) → mittlere Deformationsrate

Tagebau Hambach



Tagebau Hambach



- ▶ Systematische Fehler von ca. -30 mm/yr
→ Phase Unwrapping Problematik

Problemstellung:

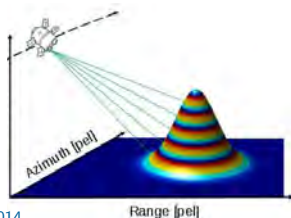
- ▶ Phase nur in einem Bereich modulu 2π messbar

$$\phi_x^t = \psi_x^t + 2\pi k$$

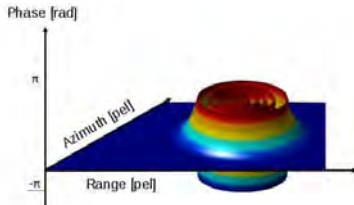
- ▶ Keine eindeutige Lösung für $k \in \mathbb{Z}$

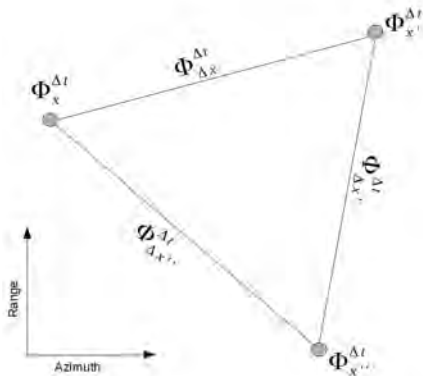
Idee:

- ▶ Rekonstruktion mit Hilfe des Phasengradienten
- ▶ Darstellung als Netzwerk mit Knoten und Kanten
→ Minimum Cost Flow (MCF)



Walzog, 2014





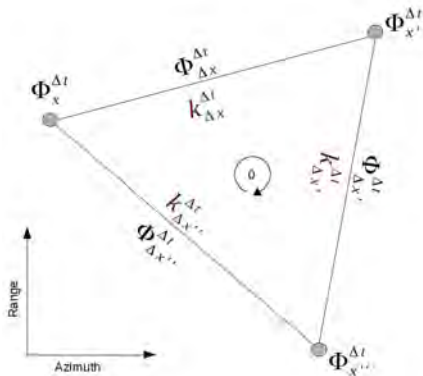
- ▶ **Basis:** D-InSAR Bild
- ▶ **Netzwerk:** Delaunay Triangulation in der Azimuth/Range- Ebene
- ▶ **Unbekannte Parameter:** Phasenmehrdeutigkeiten k entlang jeder Kante
- ▶ **Problemstellung:**

$$\sum |k_i^{\Delta t}| \dots \text{Min}$$

$$k_{\Delta x}^{\Delta t} + k_{\Delta x'}^{\Delta t} + k_{\Delta x''}^{\Delta t} = 0$$

$$k \in \mathbb{Z}$$

→ Integer Linear Program (Boyd und Vandenberg, 2004)



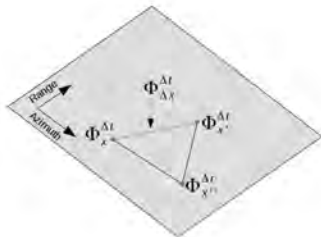
- ▶ **Basis:** D-InSAR Bild
- ▶ **Netzwerk:** Delaunay Triangulation in der Azimuth/Range- Ebene
- ▶ **Unbekannte Parameter:** Phasenmehrdeutigkeiten k entlang jeder Kante
- ▶ **Problemstellung:**

$$\sum |k_i^{\Delta t}| \dots \text{Min}$$

$$k_{\Delta x}^{\Delta t} + k_{\Delta x'}^{\Delta t} + k_{\Delta x''}^{\Delta t} = 0$$

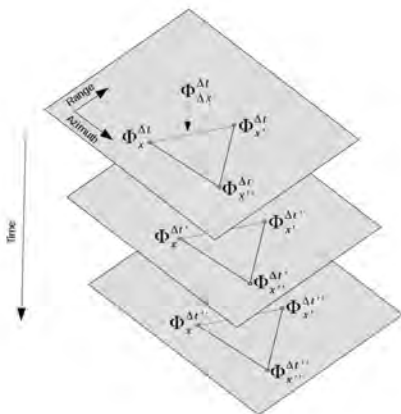
$$k \in \mathbb{Z}$$

→ Integer Linear Program (Boyd und Vandenberg, 2004)



-
-
-
-
-
-
-
-

¹Pepe und Lanari, 2006

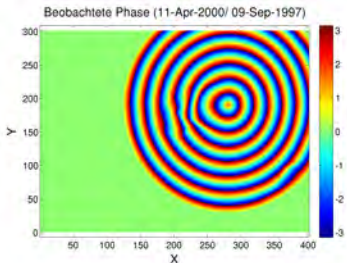
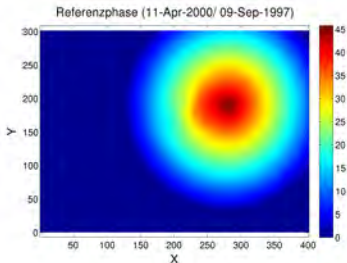


- ▶ **Basis:** Stapel von D-InSAR Bildern
- ▶ **Idee:** Zeitliche und räumliche Information nutzen
- ▶ **2 Netzwerke:**
 1. Räumliche Delaunay Triangulation
 2. Zeitliche Delaunay Triangulation
- ▶ **Workflow:**
 1. Zeitliche PhU für jeden Phasengradienten
 2. Räumliche PhU für jedes D-InSAR Bild

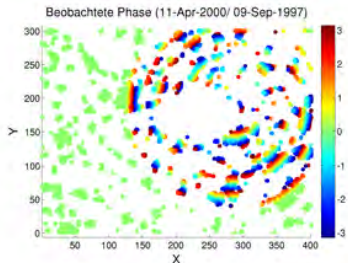
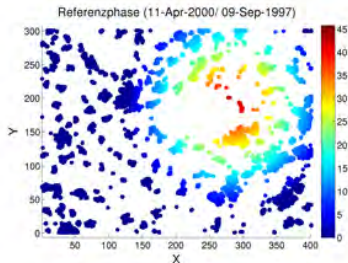
¹Pepe und Lanari, 2006

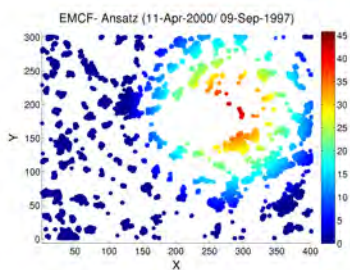
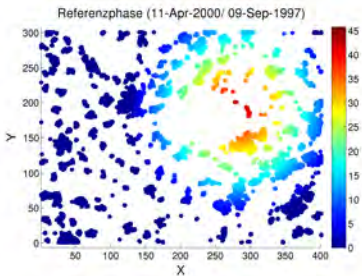
EMCF- vs. Klassischer MCF- Ansatz?

- ▶ **Referenz:** 191 D-InSAR Bilder auf Grundlage eines Setzungsmusters
- ▶ **Beobachtung:** Absolute interferometrische Phase modulu 2π
- ▶ **Aufgabe:** Beobachtete Phase abwickeln und mit Referenz vergleichen
- ▶ **Methoden:** EMCF-/
Klassischer MCF- Ansatz

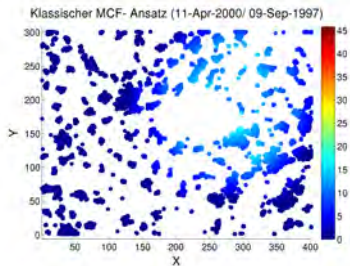
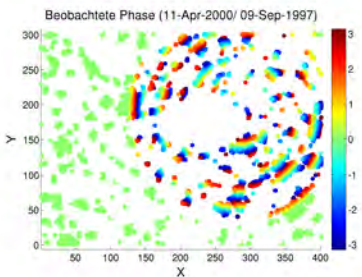


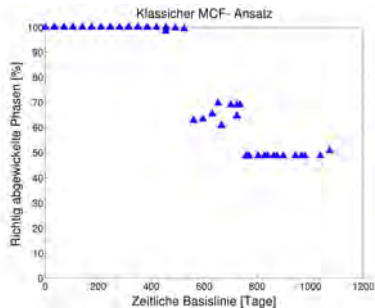
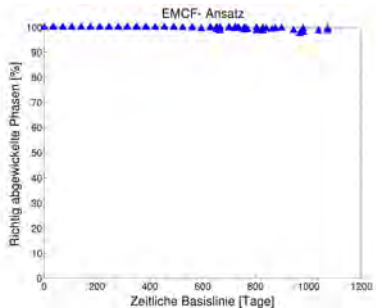
- ▶ **Referenz:** 191 D-InSAR Bilder auf Grundlage eines Setzungsmusters
- ▶ **Beobachtung:** Absolute interferometrische Phase modulu 2π
- ▶ **Aufgabe:** Beobachtete Phase abwickeln und mit Referenz vergleichen
- ▶ **Methoden:** EMCF-/
Klassischer MCF- Ansatz
→ Kohärente Pixel





PhU



- ▶ Je größer die zeitliche Basislinie, desto höher ist das Rauschen
→ PhU problematisch
- ▶ Insbesondere Klassischer MCF-Ansatz hat Probleme mit großen zeitlichen Basislinien
- ▶ EMCF- Ansatz zeigt Verbesserung

Fazit:

- ▶ Vergleich zwischen D-InSAR und Nivellement → PhU Problematik
- ▶ Große zeitliche Basislinien verursachen erhöhtes Rauschen und erschweren PhU
- ▶ Hinzunahme der zeitlichen Information verbessert Ergebnisse

Ausblick:

- ▶ Untersuchungen basieren bisher auf simulierten Daten
 - Umgang mit Ausreißern
 - Anwendung auf Echtdateien der Niederrheinischen Bucht

Fazit:

- ▶ Vergleich zwischen D-InSAR und Nivellement → PhU Problematik
- ▶ Große zeitliche Basislinien verursachen erhöhtes Rauschen und erschweren PhU
- ▶ Zunahme der zeitlichen Information verbessert Ergebnisse

Ausblick:

- ▶ Untersuchungen basieren bisher auf simulierten Daten
 - Umgang mit Ausreißern
 - Anwendung auf Echtdateien der Niederrheinischen Bucht

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

1. *Bamler, R., N. Adam, S. Hinz and M. Eineder (2008): SAR-Interferometry für geodätische Anwendungen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN), 7:243-252*
2. *Boyd, S. and Vandenberghe, L. (2004): Convex Optimization. Cambridge University Press, New York, NY, USA.*
3. *Constantini, M. (1998): A Novel Phase Unwrapping Method Based on Network Programming. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 36(3):813-821. doi:10.1109/36.673674.*
4. *Ferretti, A., Prati, C. and Rocca, F. (2001): Permanent Scatterers in SAR Interferometry. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 39(1):8-20. doi:10.1117/12.373150.*
5. *Pepe, A. and Lanari, R. (2006): On the extension of the minimum cost flow algorithm for phase unwrapping of multitemporal differential sar interferograms. IEEE T. Geoscience and Remote Sensing, 44(9):2374-2383. doi:10.1109/TGRS.2006.873207.*
6. *Schwäbisch, M. (1995): Die SAR-Interferometrie zur Erzeugung digitaler Geländemodelle. Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V., Abteilung Operative Planung. Dissertation, DLR-Forschungsbericht 95-15*
7. *Walzog, S. (2014): 3-D Phase Unwrapping Algorithmen zur Lösung der Phasenmehrdeutigkeiten in D-InSAR Stapeln. MSc. thesis, University of Bonn*
8. *Zhang, L., X. Ding and Z. Lu (2011): Modeling PSInSAR Time Series Without Phase Unwrapping. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 49, No. 1*