

**AdV-Workshop:
„DGM-Fortführung und 3D-Gebäudemodelle“**



**Watt- und Küstenvorlanderfassung mittels
interferometrischem Radar**

– Ergebnisse eines Vorprojektes –

Herbert Brockmann

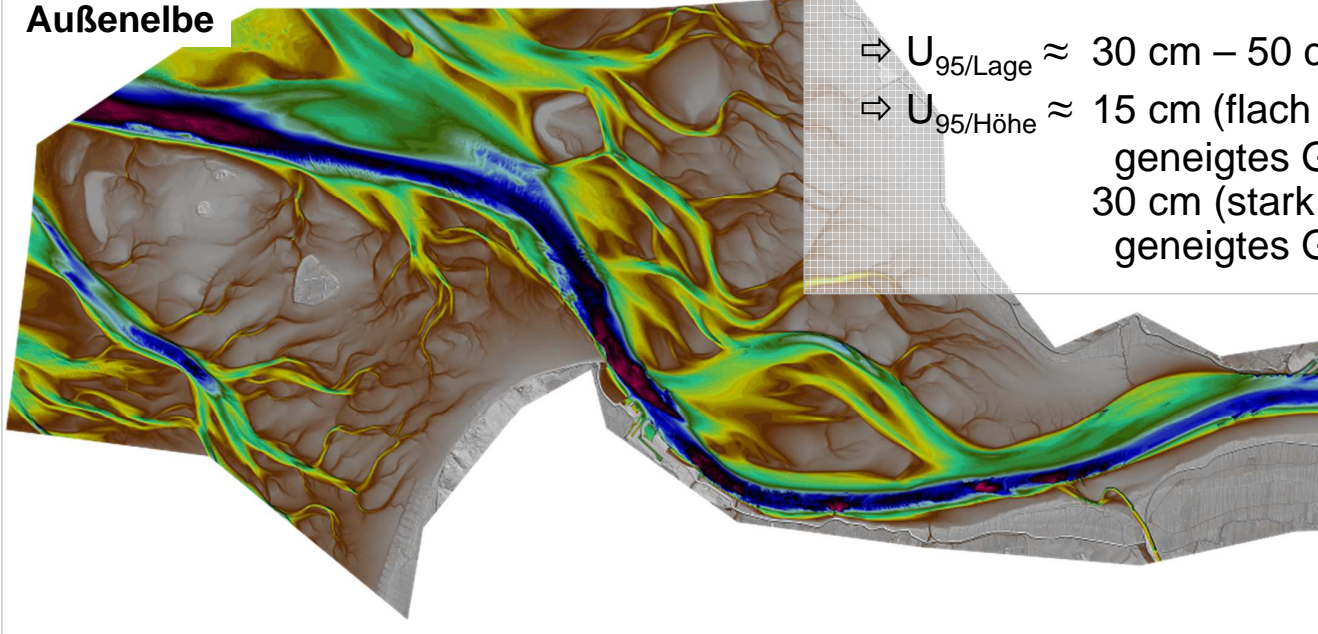
Würzburg, 11./12.03.2014

Agenda

- ① **Veranlassung**
- ② Interferometrisches Synthetic Aperture Radar
- ③ Vorprojektergebnisse
- ④ Ausblick

DGM-W im Nordsee(tide)bereich

Außenelbe



• Basisprodukt:

- 1 m-Quadratgitter
- TIN (ausgedünnt)

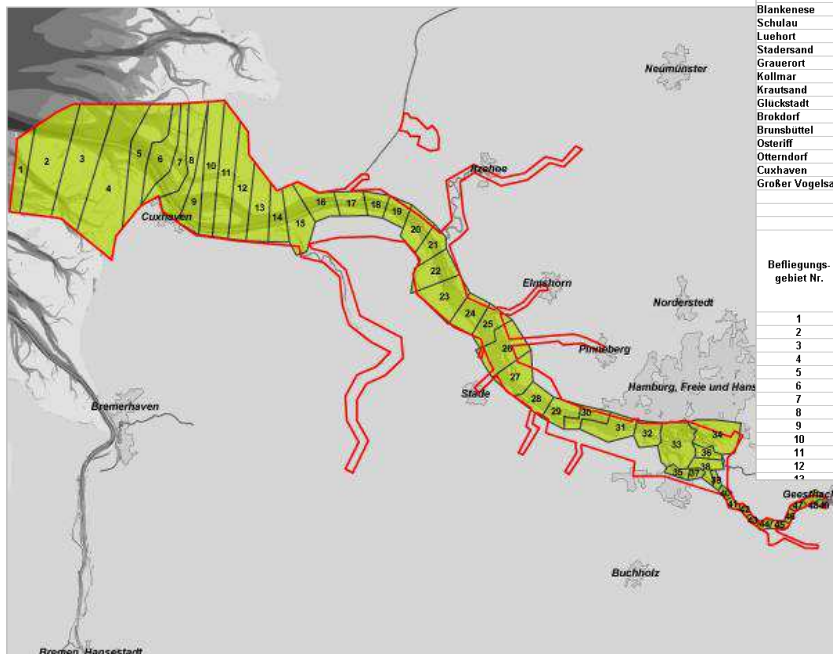
$$\Rightarrow U_{95/\text{Lage}} \approx 30 \text{ cm} - 50 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow U_{95/\text{Höhe}} \approx 15 \text{ cm (flach bis wenig geneigtes Gelände)} \\ 30 \text{ cm (stark geneigtes Gelände)}$$

AdV-Workshop, Würzburg, 11./12.03.2014, Brockmann, BfG

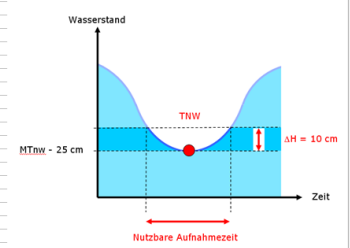
3

Einzuhaltender Wasserstand MTnw – 25 cm



| Pegel | Kilometer | Zeit bis zum Erreichen von 10cm Wasserstandsänderung | |
|------------------|-----------|--|-------------------|
| | | vor TNW [min] | nach TNW [min] |
| Zollenspieker | 598,2 | -57 | 24 |
| Over | 605,3 | -44 | 19 |
| Bunthaus | 609,8 | -36 | 14 |
| St. Pauli | 623,1 | -18 | 15 |
| Blankenese | 634,8 | -20 | 18 |
| Schulau | 641 | -32 | 27 |
| Luehrt | 645,5 | -31 | 19 |
| Stadersand | 654,8 | -29 | 19 |
| Grauerort | 660,6 | -32 | 21 |
| Kollmar | 666,8 | -35 | 21 |
| Krautsand | 671,7 | -34 | 24 |
| Gluckstadt | 674,3 | -31 | 24 |
| Brokdorf | 684,4 | -34 | 27 |
| Brunsbüttel | 696,5 | -38 | 26 |
| Osteriff | 703,8 | -32 | 27 |
| Ottersdorf | 714,2 | -46 | 24 |
| Cuxhaven | 724 | -41 | 35 |
| Großer Vogelsang | 745,6 | -42 | 31 |

| Befliegungs- gebiet Nr. | Zeitdifferenz zu TNW Cuxhaven | Befliegen möglich von X Minuten vor/nach TNW Cuxhaven (Minus bedeutet "vor") | bis Y Minuten vor/nach TNW Cuxhaven | Mögliche Gesamtbefliegungs- dauer des Polygons. | Datum/Uhrzeit des TNW Cuxhaven bei GO durch AG: | 04.09.2009 08:37 |
|----------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|------------------|
| 1 | -70 | -112 | -39 | 73 | 04.09.2009 06:45 | 04.09.2009 07:59 |
| 2 | -60 | -102 | -29 | 73 | 04.09.2009 06:55 | 04.09.2009 08:08 |
| 3 | -50 | -92 | -19 | 73 | 04.09.2009 07:05 | 04.09.2009 08:18 |
| 4 | -40 | -82 | -9 | 73 | 04.09.2009 07:15 | 04.09.2009 08:28 |
| 5 | -30 | -72 | 1 | 73 | 04.09.2009 07:25 | 04.09.2009 08:38 |
| 6 | -20 | -61 | 15 | 76 | 04.09.2009 07:36 | 04.09.2009 08:52 |
| 7 | -10 | -51 | 25 | 76 | 04.09.2009 07:46 | 04.09.2009 09:02 |
| 8 | 0 | -41 | 35 | 76 | 04.09.2009 07:56 | 04.09.2009 09:12 |
| 9 | 10 | -31 | 45 | 76 | 04.09.2009 08:06 | 04.09.2009 09:22 |
| 10 | 20 | -21 | 55 | 76 | 04.09.2009 08:16 | 04.09.2009 09:32 |
| 11 | 30 | -16 | 64 | 70 | 04.09.2009 08:21 | 04.09.2009 09:31 |
| 12 | 40 | -6 | 74 | 70 | 04.09.2009 08:31 | 04.09.2009 09:41 |
| 13 | 50 | 4 | 84 | 70 | 04.09.2009 08:41 | 04.09.2009 09:51 |



AdV-Workshop, Würzburg, 11./12.03.2014, Brockmann, BfG

4

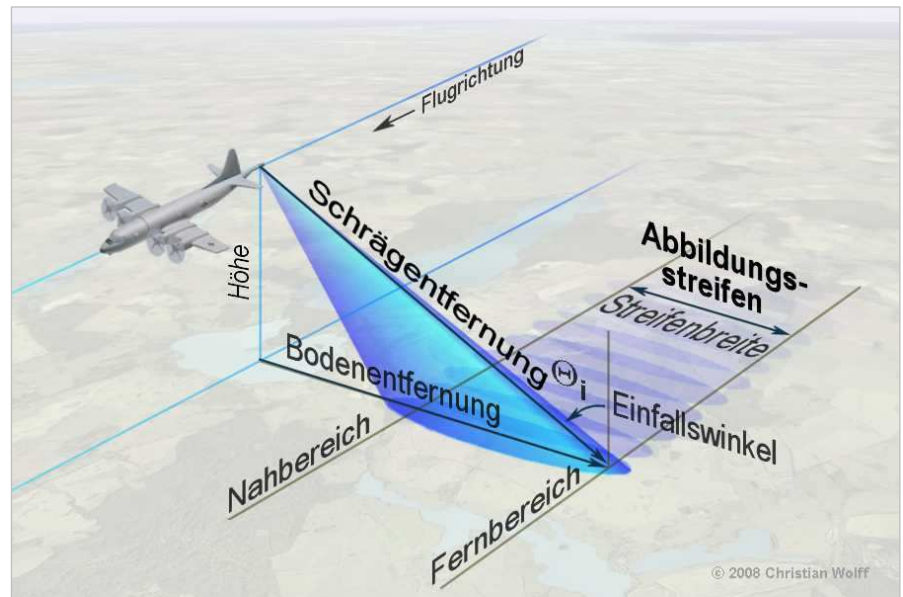
- Neuere DLR-Entwicklungen in der InSAR-Technik:
 - ⇒ wirtschaftliche Optimierung der 3D-Messdatenerfassung zur DGM-W_{Küste}-Modellierung?
- InSAR vs. ALS:
 - DGM-W-Erstellung (Watt, Küstenvorländer)
 - Datenerfassung bei einzuhaltenden MTnw-Ständen
 - ⇒ InSAR:
 - ⇒ Wetterunabhängigkeit
 - ⇒ min. 5- bis 6-fach höhere Flugflächenleistung
- Vorprojekt zur **Evaluierung**:
 - Leistungsvermögen
 - sinnvoller FuE-Bedarf

- ① **Veranlassung**
- ② **Interferometrisches Synthetic Aperture Radar**
- ③ **Vorprojektergebnisse**
- ④ **Ausblick**

SLAR-Aufnahme

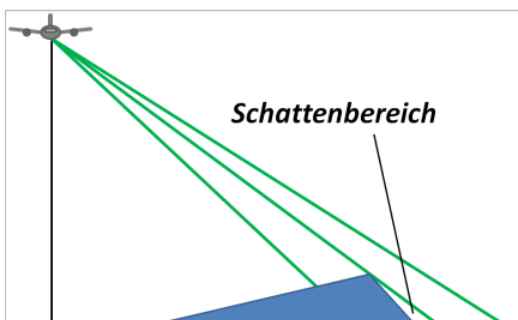
• Side-Looking-Airborne-Radar:

- Seitensicht
- aktive Mikrowellensysteme
- abbildende Systeme, pro Bildpixel:
 - Phasenwert
 - Intensitätswert
- Read Aperture Radar / Synthetic Aperture Radar



Fehlereinflüsse

Schatten



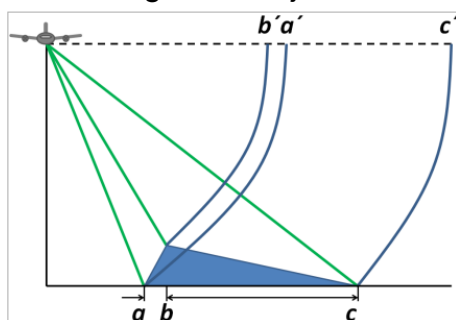
Speckle:

„verraushtes“ Bild bei homogene Flächen



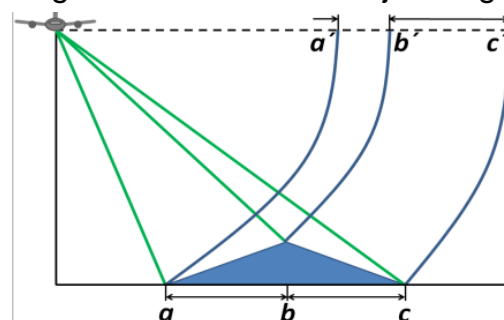
Überlagerung - Layover:

höhenunterschiedsbedingt veränderte Reihenfolge der Objekte im Bild



Hangverkürzung - Foreshorting:

höhenunterschiedsbedingt verkürzte Darstellung der tatsächlichen Objektlänge im Bild



RAR / SAR

- Rear Aperture Radar:
 - lange Antenne zur Realisierung einer guten geometrischen Auflösung in Flugrichtung
 - z. B. Satellit TerraSAR-X: 1 m-Bodenauflösung
 - ⇒ ca. 15 km Antennenlänge
 - ⇒ tatsächlich 5 m Antennenlänge
- Synthetic Aperture Radar:
 - sehr kurze Antenne, d. h., Vielzahl von Einzelaufnahmen des gleichen Gebietes mit nahezu identischer Beleuchtungsgeometrie
 - „Apertursynthese“: (TerraSAR-X-)Datenprozessierung der virtuellen Einzelantennen (5 m) zur großen synthetischen Antenne (ca. 15 km)

Quelle: http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10382/570_read-431/#gallery/356

SAR-Aufnahmemodi

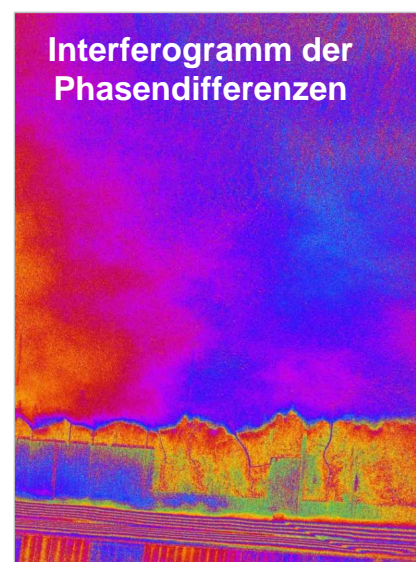
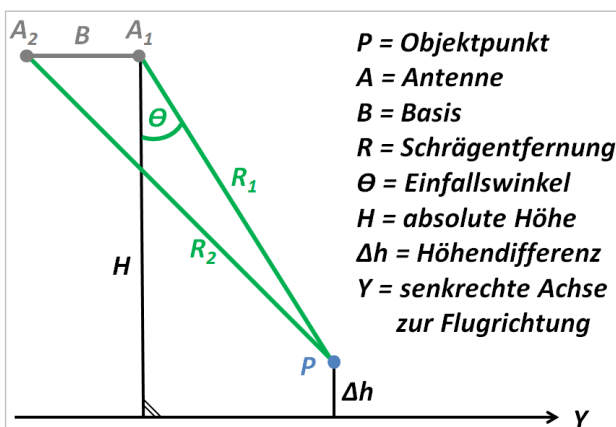
- Single-Pass- oder Einpass-Interferometrie:
 - gleichzeitige Aufnahme aus zwei geometrisch leicht versetzten Aufnahmepunkten, realisiert durch zwei zueinander verschobene Antennen am Flugzeug
- Repeat-, Dual-Pass- oder Mehrpass-Interferometrie:
 - wiederholte, zeitlich getrennte Aufnahme des gleichen Gebietes mit nahezu identischer Beleuchtungsgeometrie, ggf. räumlich versetzt

Relevante DLR-F-SAR-Bänder

- X-Band:
 - Trägerfrequenz: 9.60 GHz
 - Auflösung:
 - Flugrichtung: 0,2 m
 - Schrägentfernung: 0,3 m
 - „genaue Oberflächenerfassung“
- S-Band:
 - Trägerfrequenz: 3.25 GHz
 - Auflösung:
 - Flugrichtung: 0,35 m,
 - Schrägentfernung: 0,75 m
 - „Eindringen in Vegetation?“

Interferometrisches SAR

- Prozessierungsschritte:
 - Prozessierung der interferometrischen Phase
 - Ausgleichung der interferometrischen Abbildungsparameter
 - DOM-/DGM-Ableitung



① Veranlassung

② Interferometrisches Synthetic Aperture Radar

③ Vorprojektergebnisse

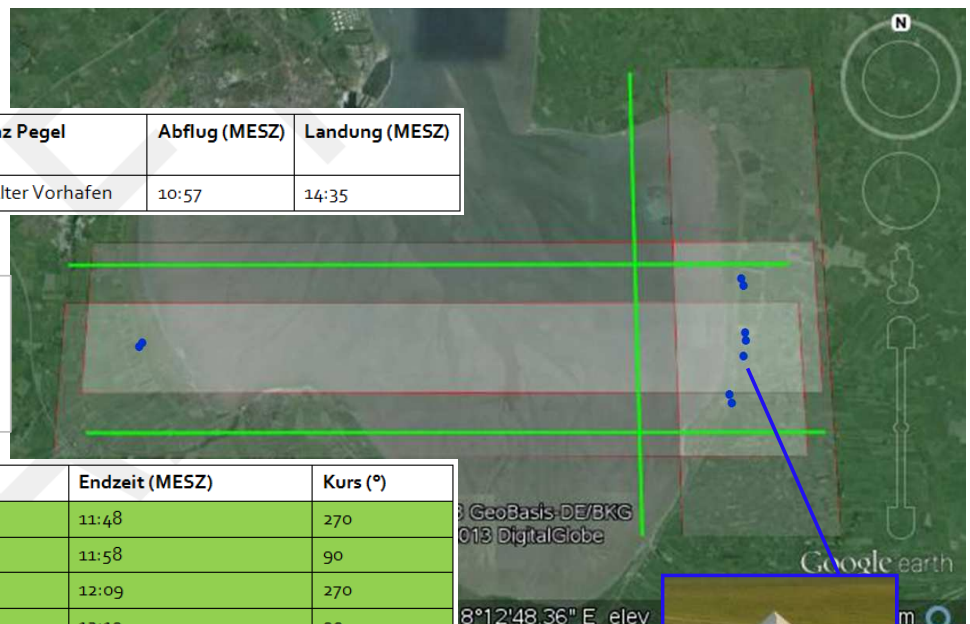
④ Ausblick

Jadebusenbefliegung 04/2013

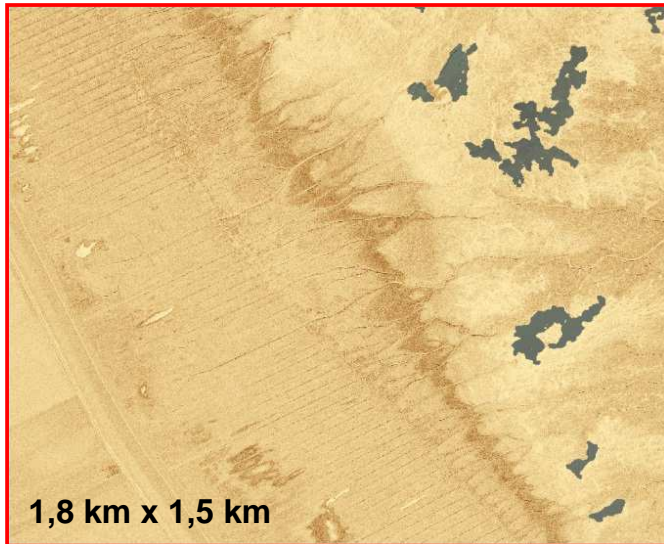
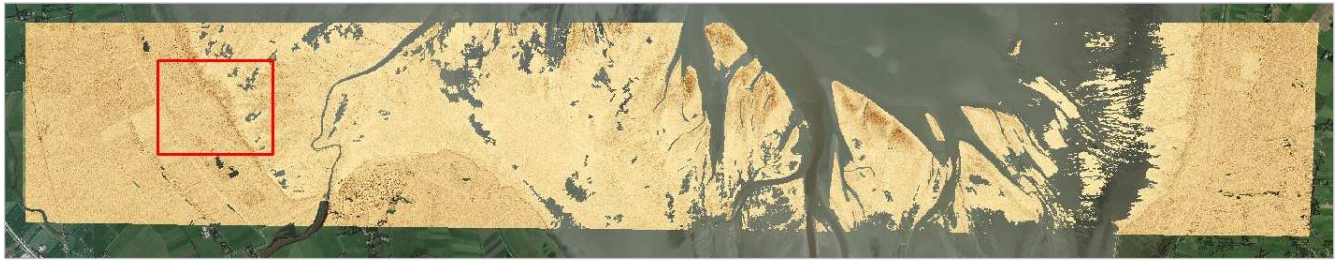
| Ort | Datum | NW (MESZ) | Referenz Pegel | Abflug (MESZ) | Landung (MESZ) |
|-----------|------------|-----------|---------------------|---------------|----------------|
| Jadebusen | 03.04.2013 | 12:25 | WHV, Alter Vorhafen | 10:57 | 14:35 |

Flughöhe: 2413 m / 2438 m
Streifenlänge: ca. 20 km
Streifenbreite: ca. 4,6 km
Basis (Lage/Höhe): 0 m / 25 m

| Pass | Linie | Startzeit (MESZ) | Endzeit (MESZ) | Kurs (°) |
|--------------|-------|------------------|----------------|----------|
| 13TOPSARo103 | 30 | 11:44 | 11:48 | 270 |
| 13TOPSARo104 | -40 | 11:54 | 11:58 | 90 |
| 13TOPSARo105 | 33 | 12:05 | 12:09 | 270 |
| 13TOPSARo106 | -43 | 12:15 | 12:19 | 90 |
| 13TOPSARo107 | 51 | 12:25 | 12:29 | 270 |
| 13TOPSARo108 | -61 | 12:35 | 12:39 | 90 |
| 13TOPSARo109 | 50 | 12:44 | 12:48 | 270 |
| 13TOPSARo110 | -60 | 12:55 | 12:59 | 90 |
| 13TOPSARo114 | 70 | 13:48 | 13:51 | 0 |



Georeferenziertes 0,5 m-SAR-(Intensitäts-)Bild

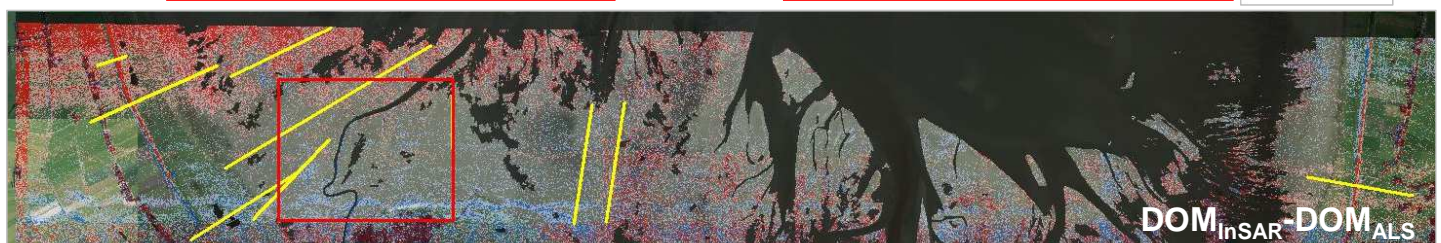
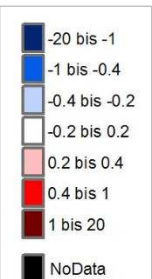
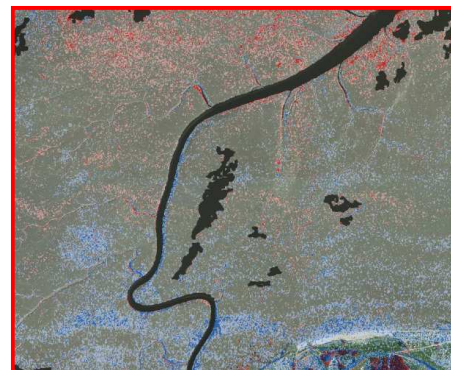
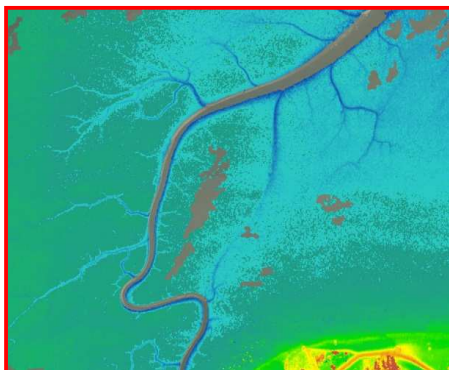
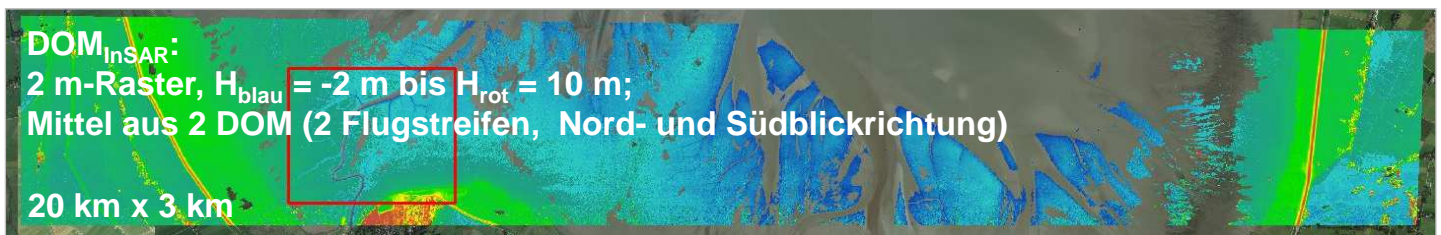


- Bewertung:
 - Datenlücken
 - Flächen ohne Rückstrahlsignal
 - eindeutige Wasserflächen
 - Restartefakte enthalten
 - $U_{x/95} = U_{y/95} \leq 2 \text{ m}$
 - $\Delta_{x/\max} = \Delta_{y/\max} \approx 5 \text{ m}$

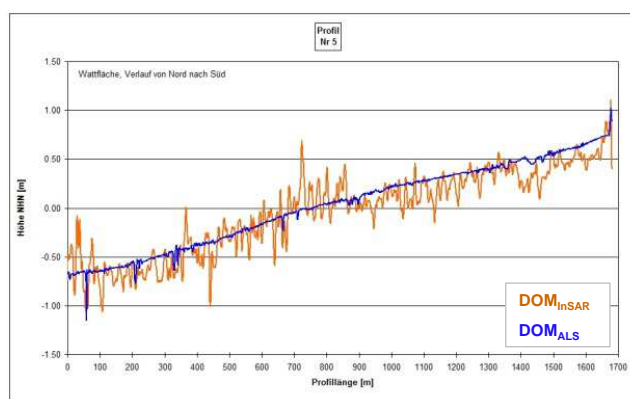
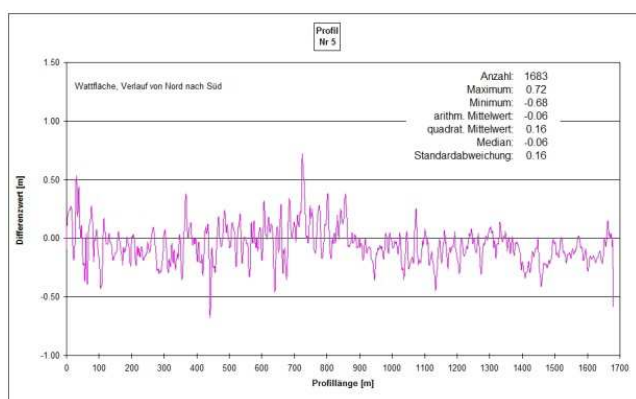
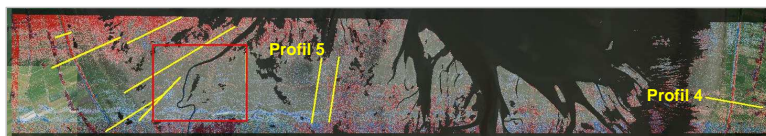
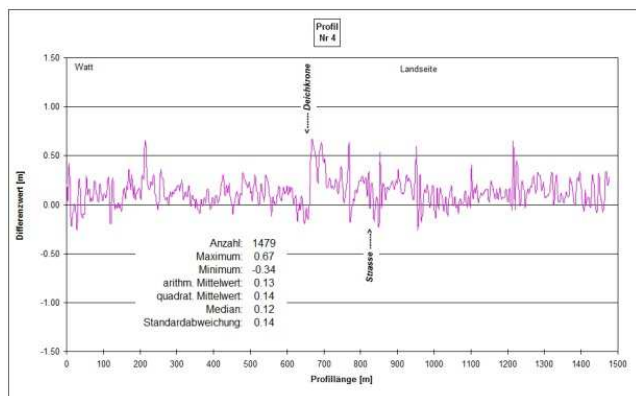
AdV-Workshop, Würzburg, 11./12.03.2014, Brockmann, BfG

Quelle: <http://www.geodt.com/deu/d/Radar-Interferometrie>

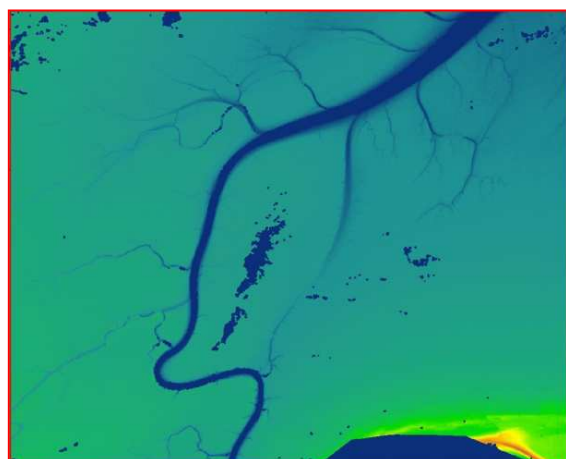
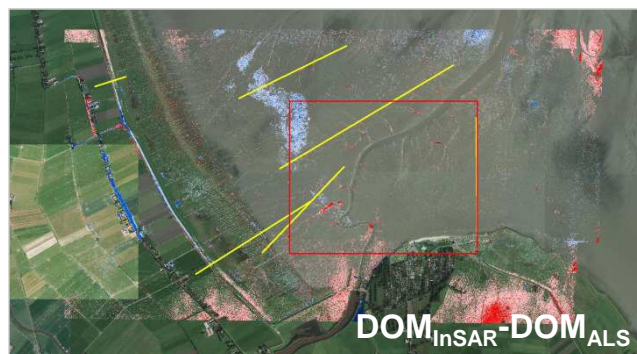
Einpass-DOM

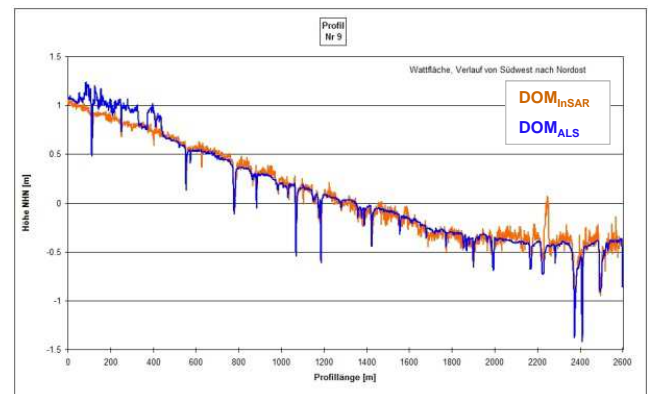
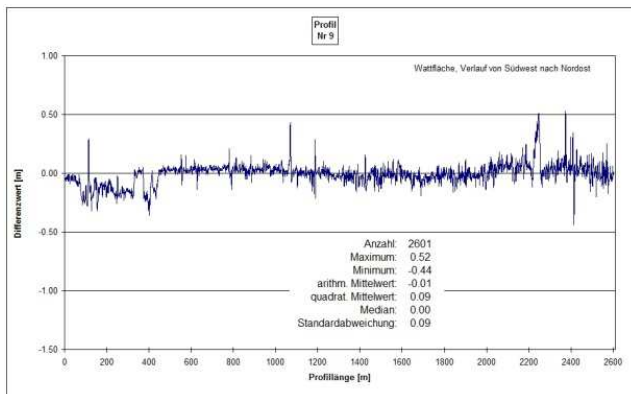
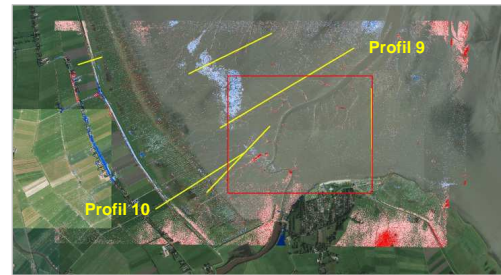
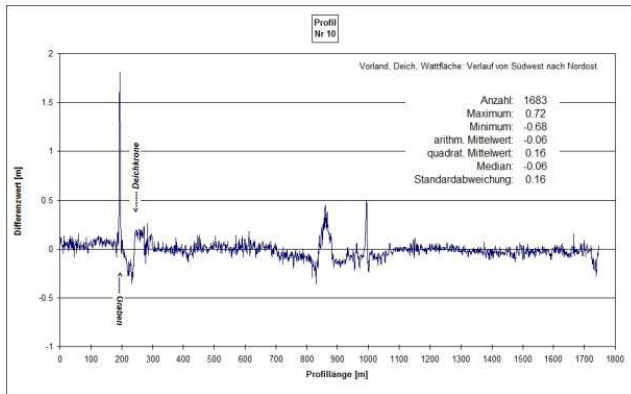


AdV-Workshop, Würzburg, 11./12.03.2014, Brockmann, BfG



Mehrpass-DOM

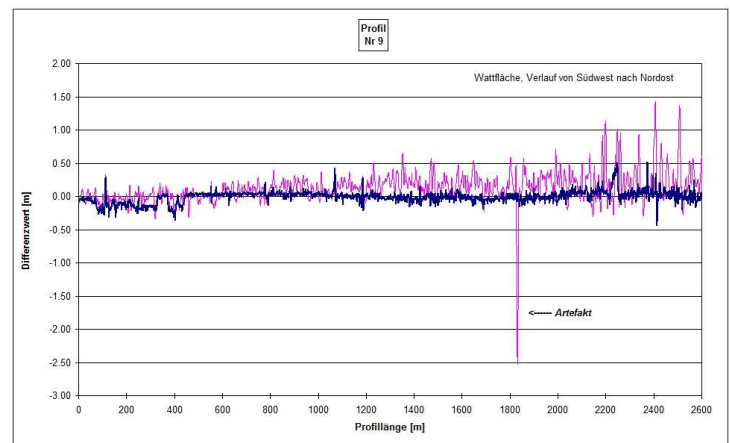
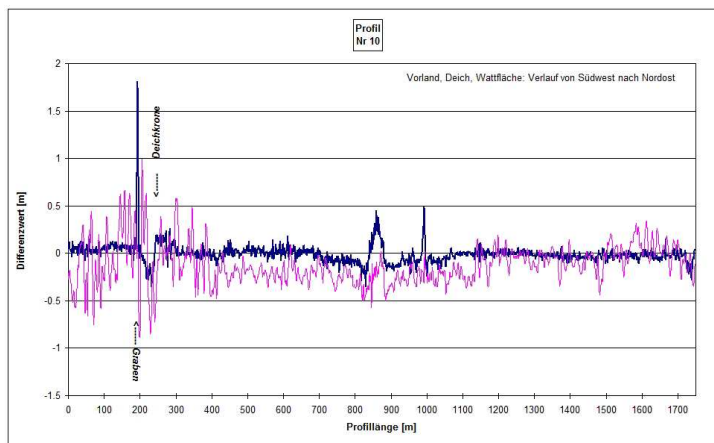
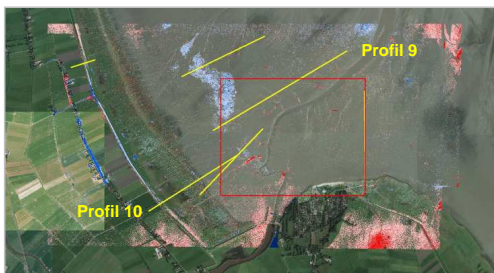




AdV-Workshop, Würzburg, 11./12.03.2014, Brockmann, BfG

19

Ein- vs. Mehrpass-DOM



AdV-Workshop, Würzburg, 11./12.03.2014, Brockmann, BfG

20

- 1. Abschätzung:
 - Ein- zu Mehrpass-Interferometrie keine Alternative
 - Genauigkeiten $\text{DOM}_{\text{InSAR/MP}}$:
 - Watt: $U_{H/95} \approx 25 \text{ cm}$
 - Vorland: $U_{H/95} \approx 30 \text{ cm}$, Ziel aber DGM
 - erkennbare Restsystematiken
 - Rauheit im DOM nicht akzeptabel
 - Wasser-Land-Grenzenbestimmung noch unbefriedigend
 - Datenplausibilität, -georeferenzierung und -klassifizierung noch unbefriedigend
- Ziel: DGM, kein DOM

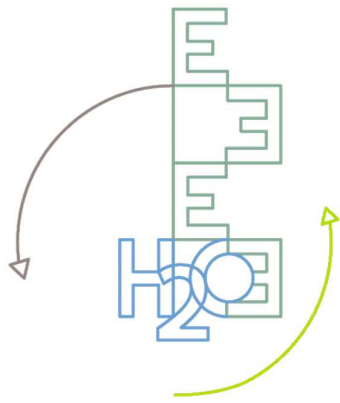
- ① Veranlassung
- ② Interferometrisches Synthetic Aperture Radar
- ③ Vorprojektergebnisse
- ④ Ausblick

InSAR-Perspektiven

- Topographische Wattflächenerfassung vielversprechend:
 - Weiterentwicklungsbedarf:
 - Höhen- / Lagebestimmung
 - WLG-Bestimmung
- Topographische Küstenvorlanderfassung offen:
 - S-Band ist inzwischen verfügbar
 - Weiterentwicklungsbedarf:
 - Höhen- / Lagebestimmung
 - Klassifizierung (Geländebestimmung)

Avisiertes FuE-Vorhaben

- Optimierung der topographischen Datenerfassung:
 - F-SAR-System einschl. Fluganordnung
 - Datenprozessierung, InSAR-Bild, -DOM und -DGM:
 - InSAR-Bildverbesserung
 - Ausgleichung der interferometrischen Abbildungsparameter
 - InSAR-Datenplausibilisierung, -georeferenzierung, -klassifizierung
 - Wasser-Land-Grenzenbestimmung
- Sonstige potenzielle Nutzungen:
 - Rauheitenbestimmung für HN-Modellierung
 - Bewertung morphologischer Vorgänge
 - Erfassung von Vegetationsveränderungen
 -



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Herbert Brockmann
Referatsleiter Geodäsie
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Germany

Tel.: +49 261 1306-5214, Fax: +49 261 1306-5088
E-Mail: brockmann@bafg.de
www.bafg.de

BfG-Kolloquium

Wasserstraßenbezogene geodätische Anwendungen und Produkte der Fernerkundung:

- **Einsatzmöglichkeiten und Leistungsvermögen aktueller Fernerkundssysteme:**
UAV-Einsatz, Laserbathymetrie, InSAR,
Matching vs. ALS,
- **Entwicklungen und Perspektiven der Fernerkundung:**
Hochwassererfassung 06/2013, Qualitätssicherung,
Copernicus-Programm,

Koblenz, 18./19.11.2014