



Technische
Universität
Braunschweig



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

PTJ
Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich



KFKI



Vertikale Landbewegungen an der deutschen Küste

Teilprojekt - Vertikale Landbewegungen für **MSL Absolut** (03KIS117)

Anika Riedel, Dieter Tengen, Björn Riedel, Markus Gerke und Wolfgang Niemeier

Gliederung

Einleitung

Methoden

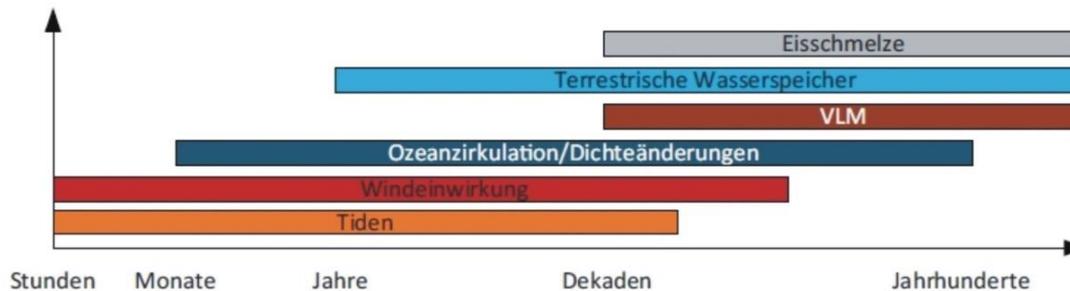
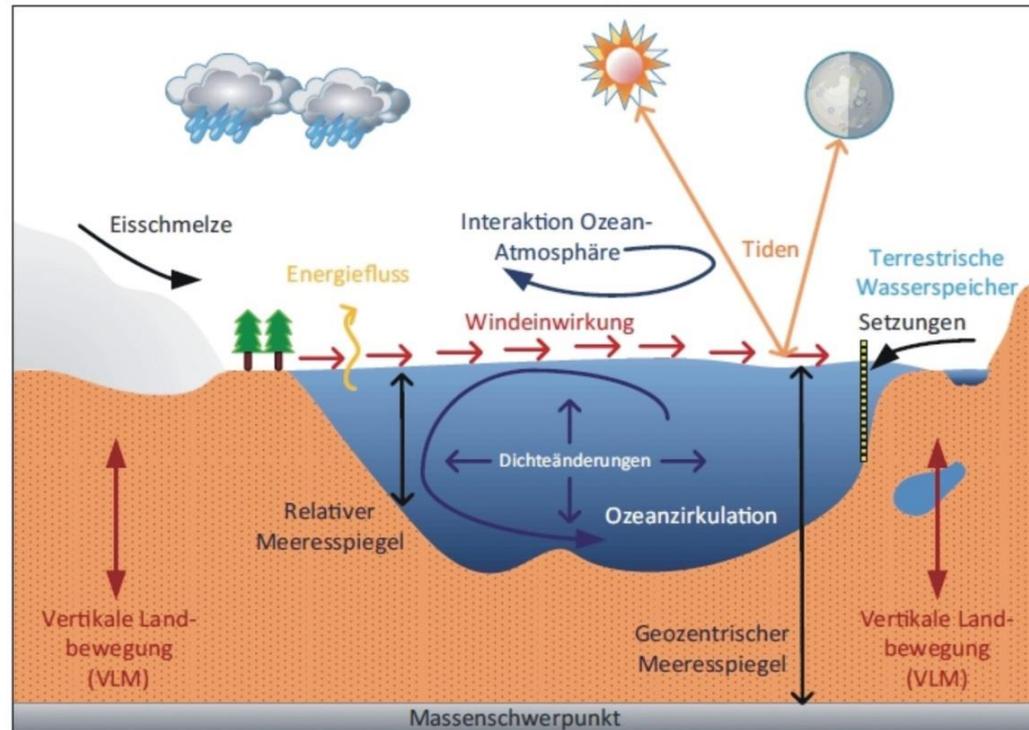
- Radarinterferometrie
 - Datenlage – Prozessierung -Teilergebnisse
- GNSS
 - Datenlage – Prozessierung –Teilergebnisse

Bewegungsfelder

- Erweiterte Modellbildung
- Vergleiche

Zusammenfassung

Meeresspiegeländerung und beeinflussende Prozesse

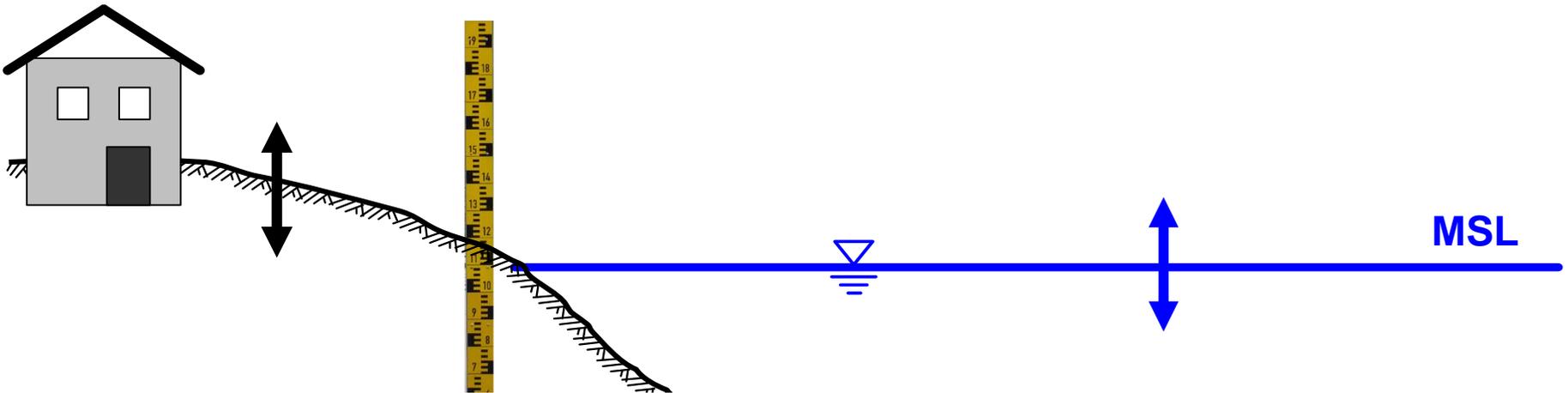


JENSEN, J. ET AL.:
Meeresspiegeländerungen in der Nordsee: Entwicklungen und Herausforderungen, HyWa, 2014

Pegel(-umfeld) – Schnittstelle Land - Meer

Relativer MSL: wichtiger Parameter für Basisaufgaben im Bereich des Küsteningenieurwesens

Absoluter MSL: wichtiger Parameter für die Verifikation von Klimamodellen und für den Vergleich mit Altimetrie-Daten



- Kenntnis der landseitigen Vertikalbewegungen
- Kenntnis über die Stabilität des Pegels und seines Umfeldes

Teilprojekt differentielle Vertikale Flächenhafte Landbewegung

Aufbereitung und Auswertung von Beobachtungsdaten

- Aktualisierung der **GNSS und Nivellement-Datensätze** bezüglich räumlich und zeitlicher Ausdehnung
- Aufbereitung der **GNSS Daten** (wochenweise Bestimmung von homogenen Punktkoordinaten der GNSS Stationen) und der Nivellement-Daten (Ableiten von Änderungen der Höhendifferenzen zwischen zwei Punkten aus gemessenen Höhenunterschieden)
- Auswertung der **Radardaten** und Erstellung von Zeitreihen bezüglich regionaler vertikaler Landbewegungen
- Zusammenstellung von **relevanten Daten** zur Interpretation der mit Radarinterferometrie beobachtbaren **Oberflächenprozesse**, wie geomorphologische, hydrologische, anthropogene und technogene Strukturen

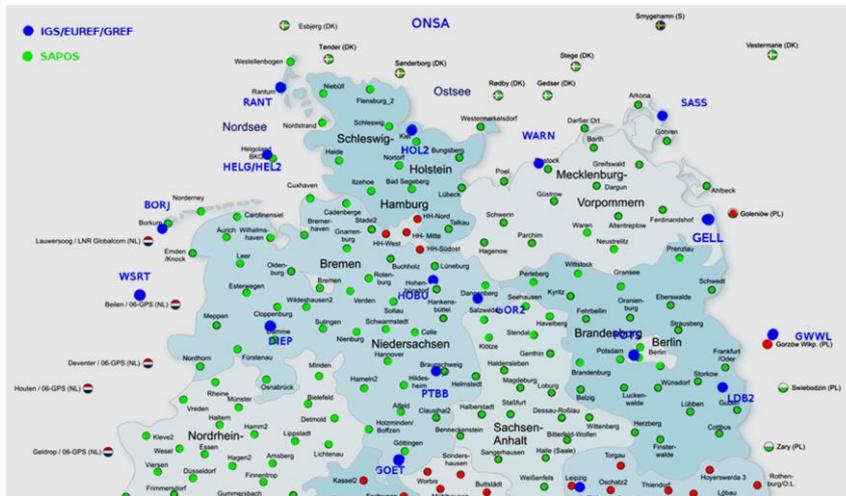
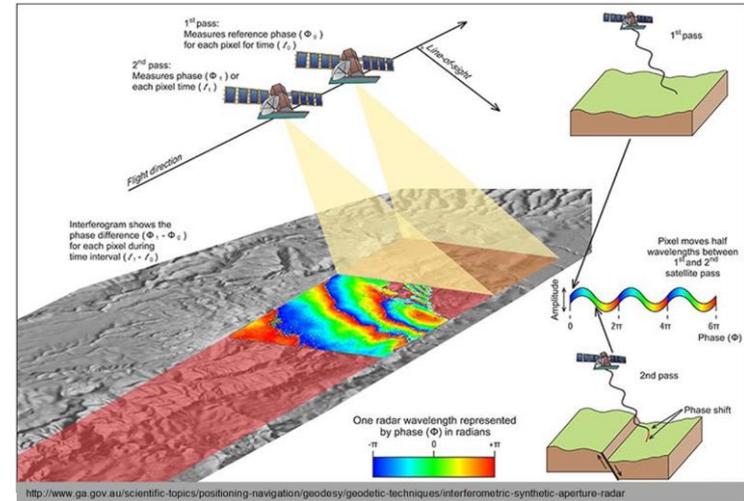
Räumliche Erweiterung des IKÜS-Ansatzes auf die gesamte deutsche Küste

- Methodische Erweiterung des Modells **um nicht-linearer Vertikalbewegungsmuster** und Einführung von Bereichen mit anthropogenen Einflüssen und spezifischen Bewegungsverhalten
- Kopplung des erweiterten IKÜS-Modelles mit den ermittelten **flächenhaften vertikalen Bewegungsfeldern aus der Radarinterferometrie**

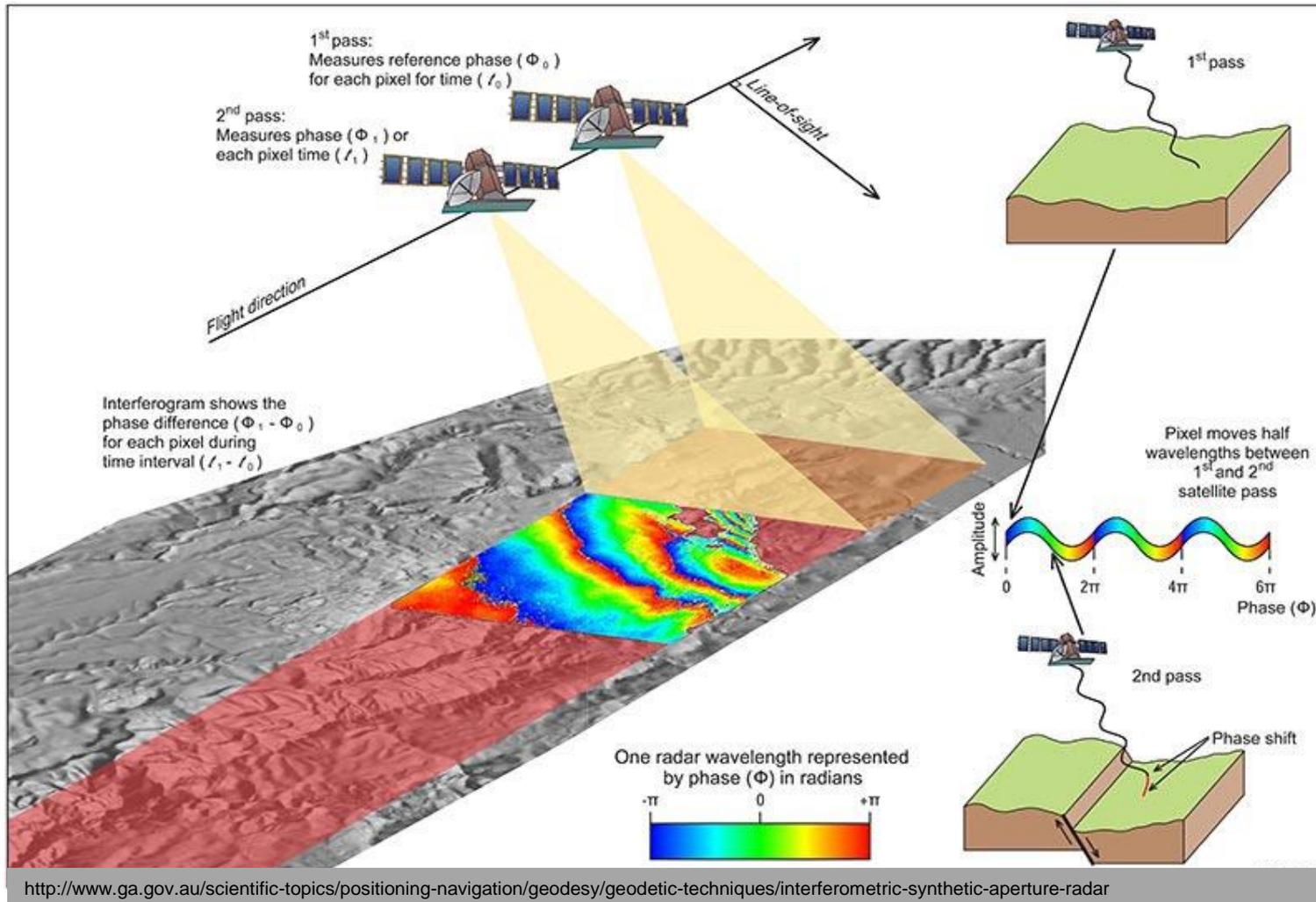
Methoden

- Radarinterferometrie
 - Datenlage – Prozessierung – Teilergebnisse

- GNSS
 - Datenlage – Prozessierung – Teilergebnisse



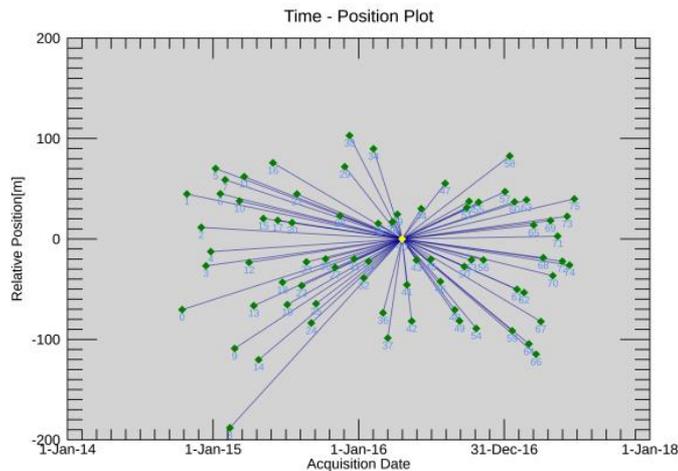
Grundprinzip der Radarinterferometrie



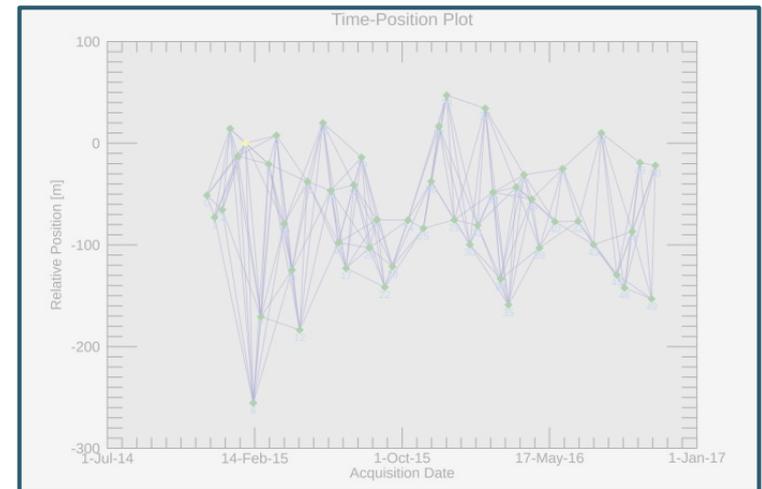
Multitemporale Auswertemethoden der Prozessierung

InSAR Zeitreihen-Methoden

Persistent Scatterer (PS) Single-Master



Small Baseline Subset (SBAS) Multiple-Master



Auswertung mit multitemporaler PSI
Methode nach Feretti et al. (2001)

Verfügbarkeit der Radar-Fernerkundungsdaten zu Projektbeginn

1992-2002: 2917 Szenen von ERS 1/2

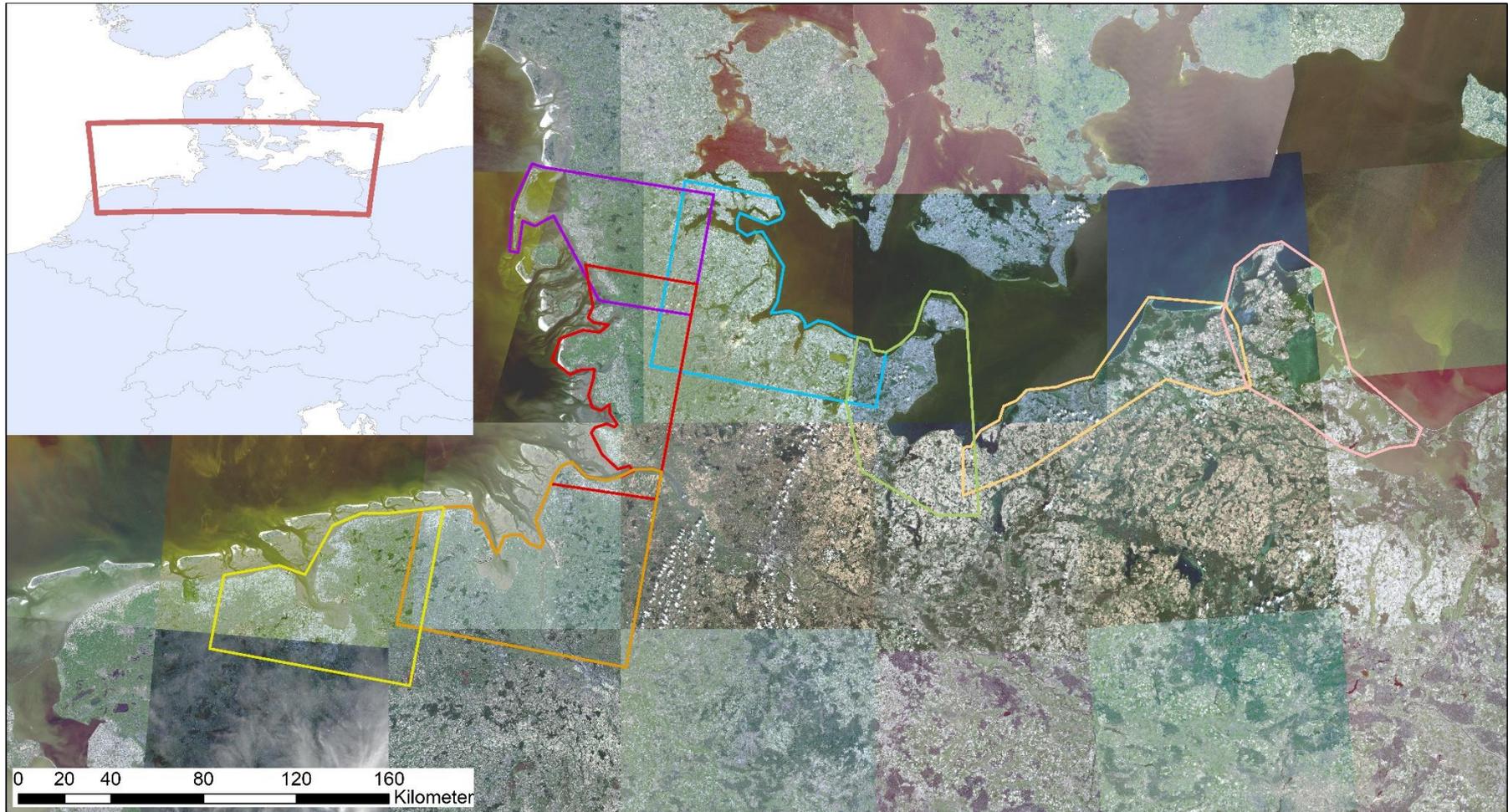
2002-2009: 6797 Szenen von ENVISAT

2007-2010: kostenpflichtige Szenen von TerraSAR-X

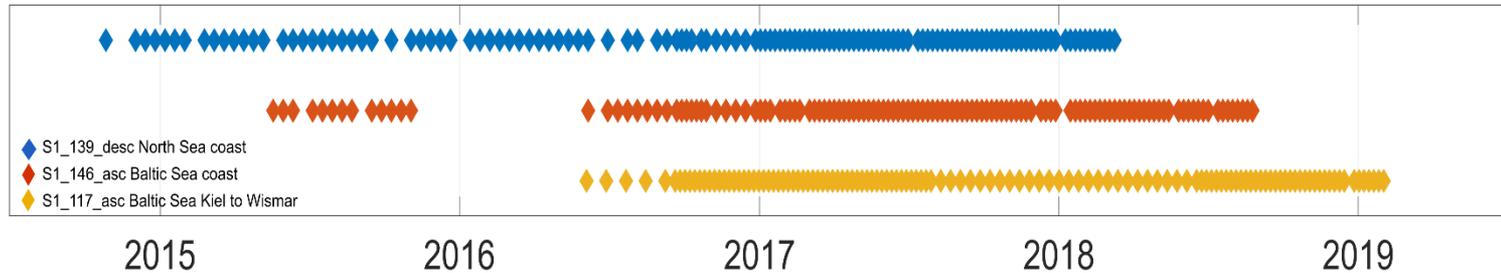
2014-2017: 2425 Szenen von Sentinel-1

The screenshot shows the Copernicus Open Access Hub interface. On the left, a search results panel displays a list of 2425 products, ordered by sensing date. The first product is S1A_IW_SLC_1SDV_20171106T052519_20171106T052546_019140_020636_9008. The map on the right shows a red polygon over a region in Germany, including cities like Hamburg, Berlin, and Frankfurt. The interface includes a search bar, navigation controls, and a list of products with download URLs and mission details.

Ergebnisse der Radarauswertungen

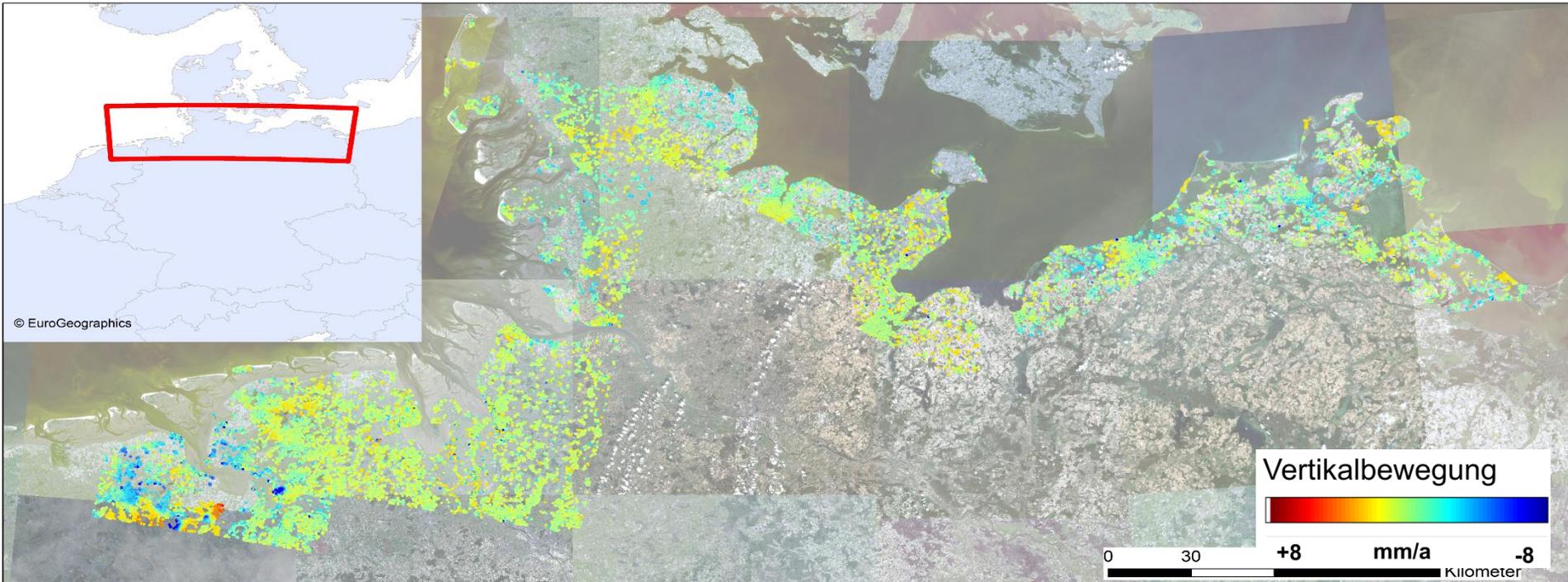


Datengrundlage Sentinel-1a &-b



Name	Ausdehnung	Größe (km ²)	Berechnungszeit (Tage)	Datensatz (TB)	Computer
Patch1	Groningen-Papenburg	5300	14	2	Arbeitsplatz
Patch2	Wilhemshaven-Bremen	6300	22	2	Arbeitsplatz
Patch3	Cuxhaven-Bredtstedt	3500	6	1,2	Hochleistung
Patch4	Bredtstedt-Sylt	3700	6	1,1	Hochleistung
Patch5	Flensburg-Lütjenburg	5000	7	1,3	Hochleistung
Ostsee_West	Wismar-Stralsund	3500	8	2	Hochleistung
Ostsee_Ost	Stralsund- Świnoujście	3800	5	2	Hochleistung

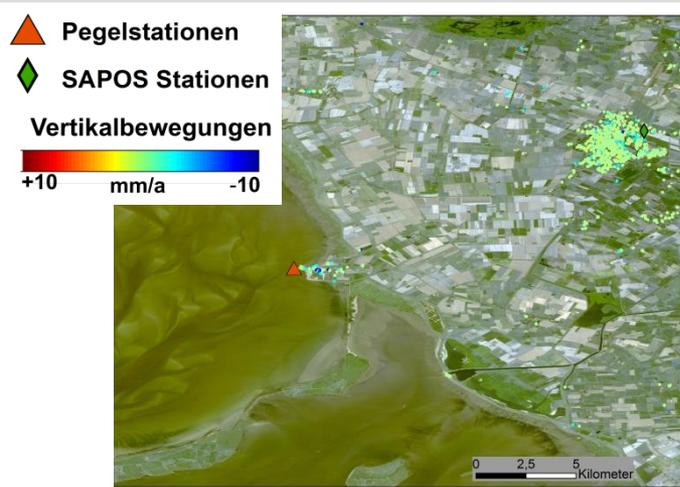
Gesamtlösung für die deutsche Küste



Besonderheiten:

- Im Raum Emden Setzungen durch aktive Kohlenwasserstoff– Förderung
- In Wilhelmshaven und Etzel Bewegungen durch Kavernenspeicher im Untergrund
- Lokale Setzungen durch Bautätigkeiten

Detailstudie zum Bewegungsmuster am Pegel Dagebüll



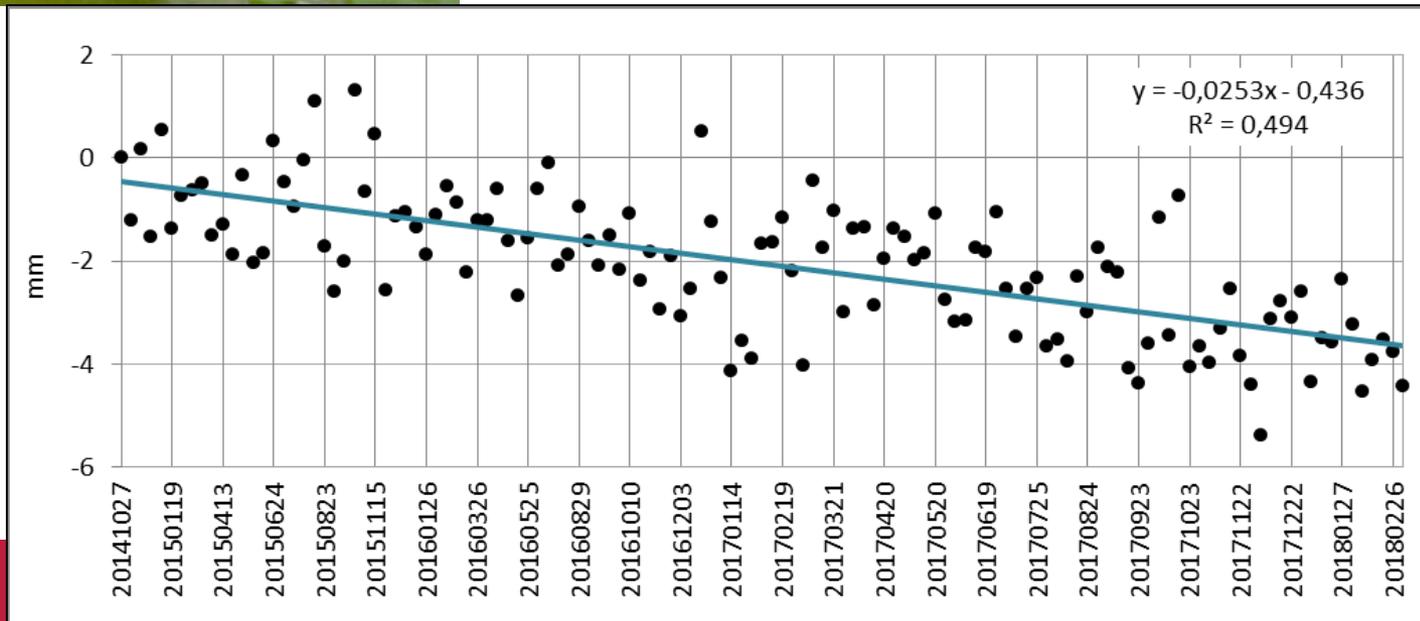
Quelle: <https://www.bing.com/maps>

Clusterbildung am Pegel Dagebüll

▲ Pegelstationen
◆ SAPOS Stationen
Vertikalbewegungen
+10 mm/a -10



- 1. Scatter in 120 m Entfernung vom Pegel
- 2. Scatter in 230 m Entfernung
- Im Radius von 500 m 31 Scatterer
- Linearer Trend aus mittlerem Bewegungsverhalten der 31 Scatterer
- Vertikale Landbewegung von -1 mm/a



GNSS-Auswertungen

Bestimmung der Höhenänderung von GNSS Stationen im Bereich der Nord- und Ostseeküste.

Aber: Änderungen müssen immer in Bezug zu möglichen ‚Stabilbereichen‘ bestimmt werden. Für die GNSS Auswertung ist der Bezug das Mittelgebirge!



Quelle: Bundeszentrale für
Politische Bildung

GNSS - Transformation, Realisierung

Ideal:

- Alle Referenzpunkte sind stabil!

Realität:

- Referenzpunkte können Instabilitäten / Eigenbewegung aufweisen.
- Wenn Anzahl der stabilen Referenzpunkte zu gering wird, ist die Lagerung unsicher.
- Lagerung ist sehr wichtig, da Koordinatenänderungen an der Küste *extrapoliert* werden!

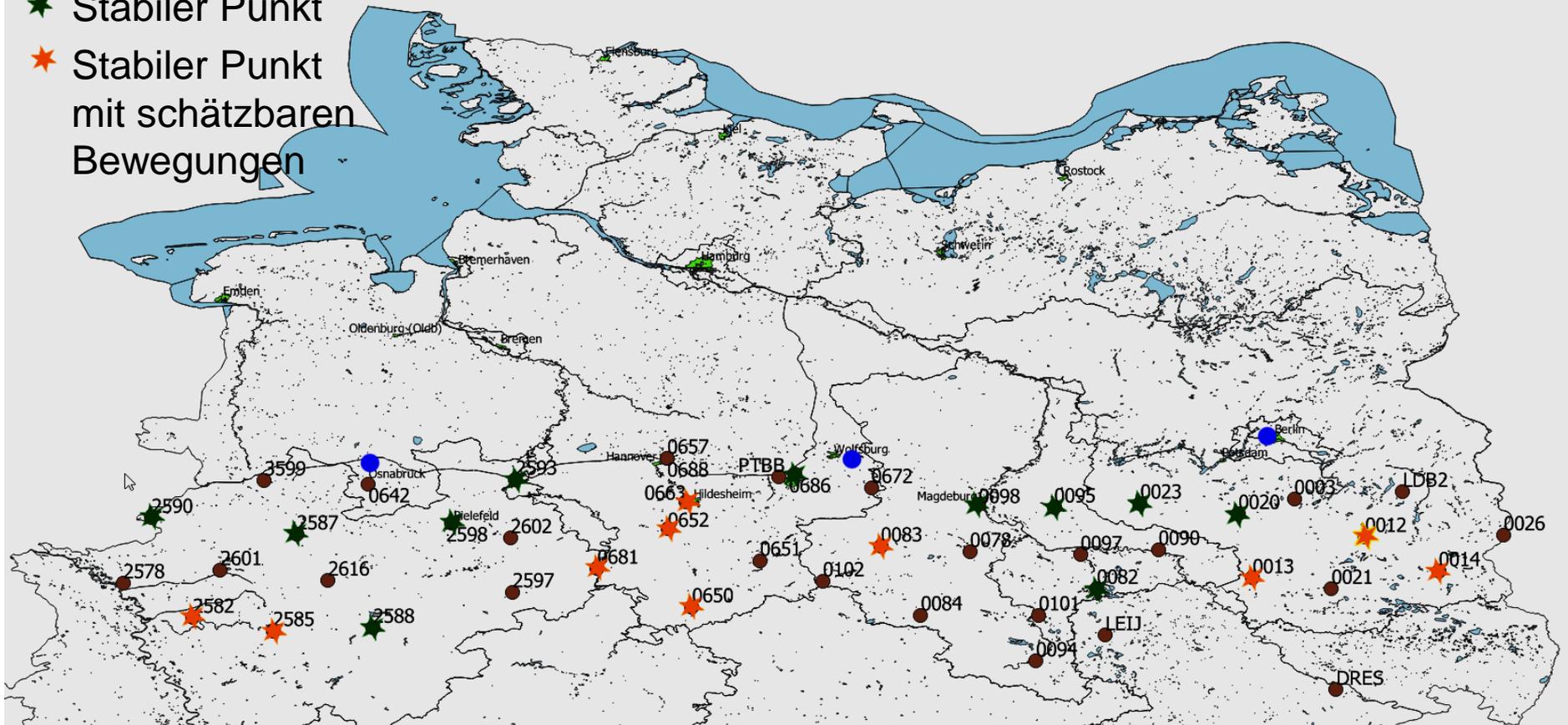
Idee:

- Strenge Deformationsanalyse zur Kontrolle der Stabilität der Referenzpunkte.
- Stabile Punkte werden ergänzt durch Punkte mit bestimmtem Bewegungsverhalten:
 - Offset bei Antennenwechsel
 - Saisonale Bewegung
 - konstante Geschwindigkeit
- Transformation auf stabile **und** auf bestimmtem Stationen!

GNSS - Deformationsanalyse, Ergebnis

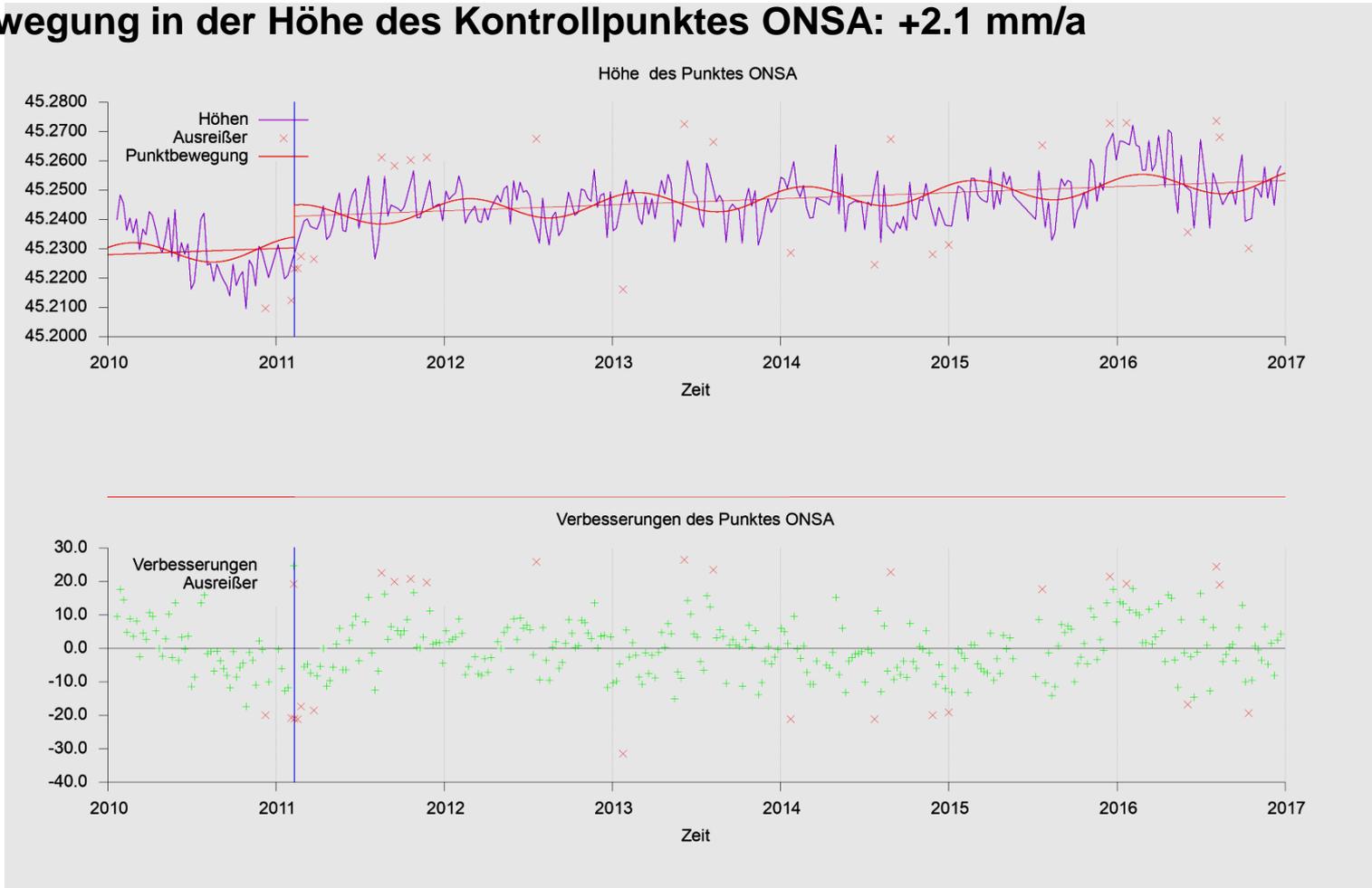
Ergebnis der Deformationsanalyse:

- ★ Stabiler Punkt
- ★ Stabiler Punkt mit schätzbaren Bewegungen



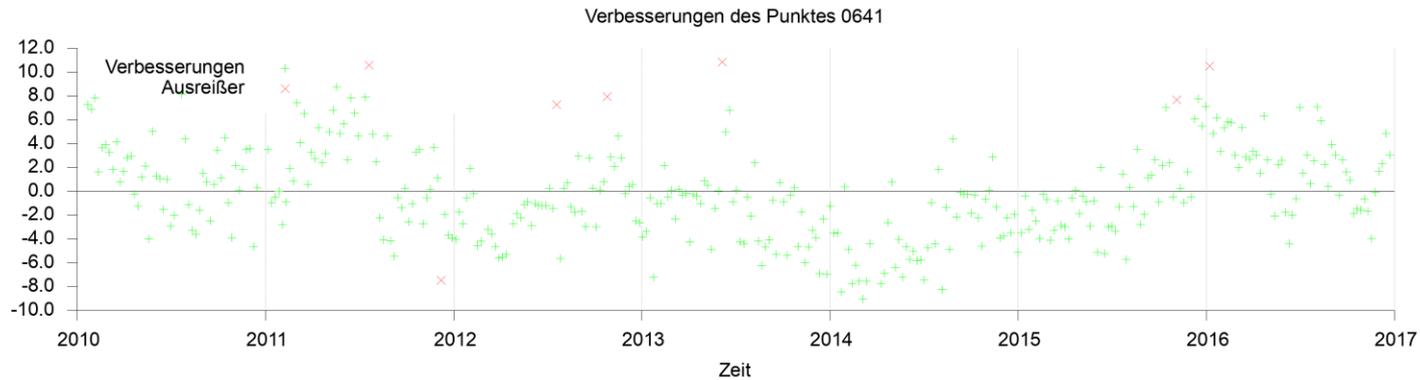
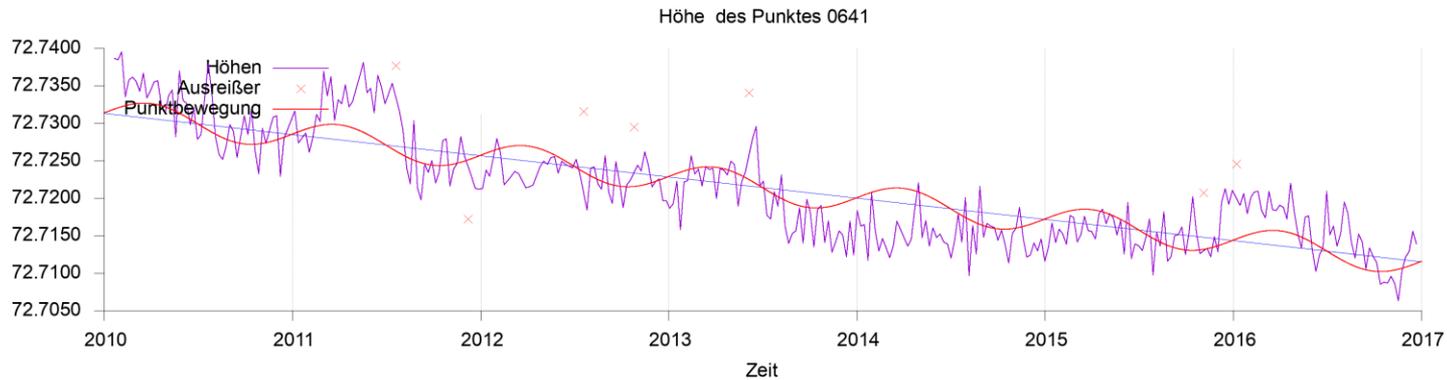
GNSS -“Kontrollpunkt“ für Transformation und Zeitreihen

Bewegung in der Höhe des Kontrollpunktes ONSA: +2.1 mm/a



GNSS Ergebnisse - Cuxhaven (Punkt 0641)

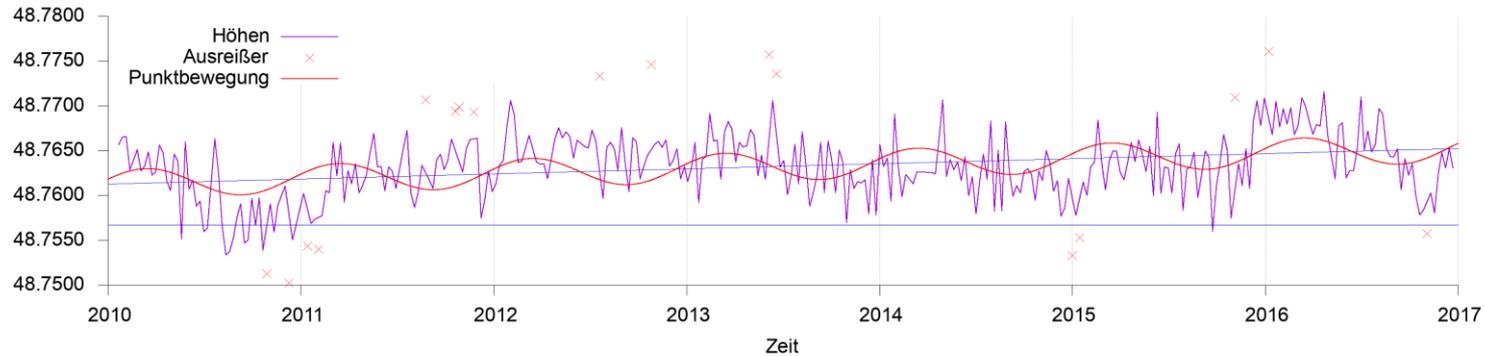
Bewegung in der Höhe des Punktes: 0641, Cuxhaven, -2.8 mm/a



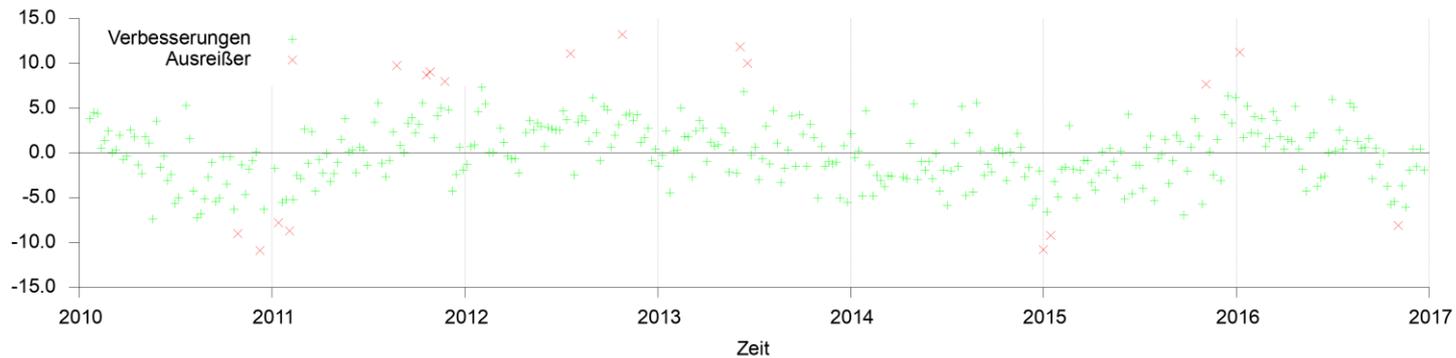
GNSS Ergebnisse - Cuxhaven (Punkt TGCU)

Bewegung in der Höhe des Punktes: TGCU, Cuxhaven, +0.2 mm/a

Höhe des Punktes TGCU



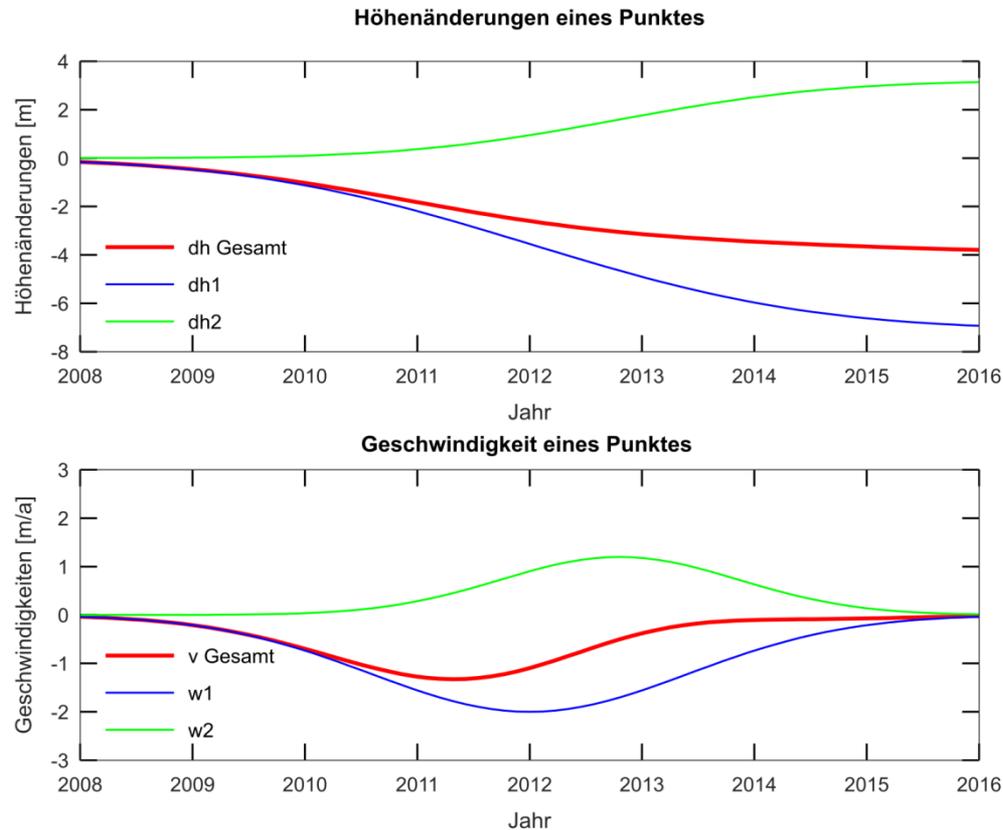
Verbesserungen des Punktes TGCU



Erweiterung des Modells (nichtlineare Geschwindigkeiten)

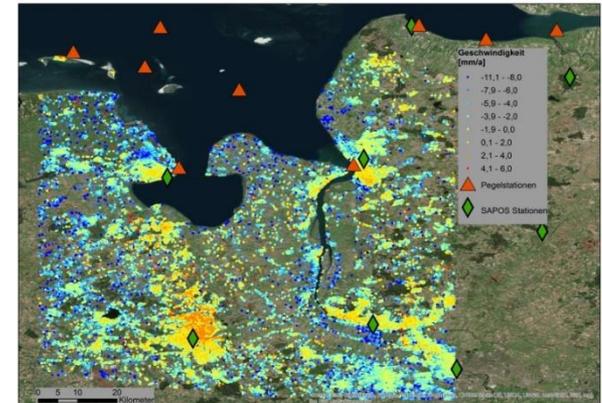
Beispiel einer nichtlinearen Geschwindigkeit eines Punktes

Durch die Überlagerung mehrerer RBF können auch komplexere Änderungen approximiert werden.



Aufbau eines Geschwindigkeitsfeldes in MSL_absolut

- Hinzunahme von interferometrischen Radardaten:
 - Flächenhafte Verteilung vieler Messpunkte (PS).
 - Zeitreihe der Höhenänderungen vorhanden.

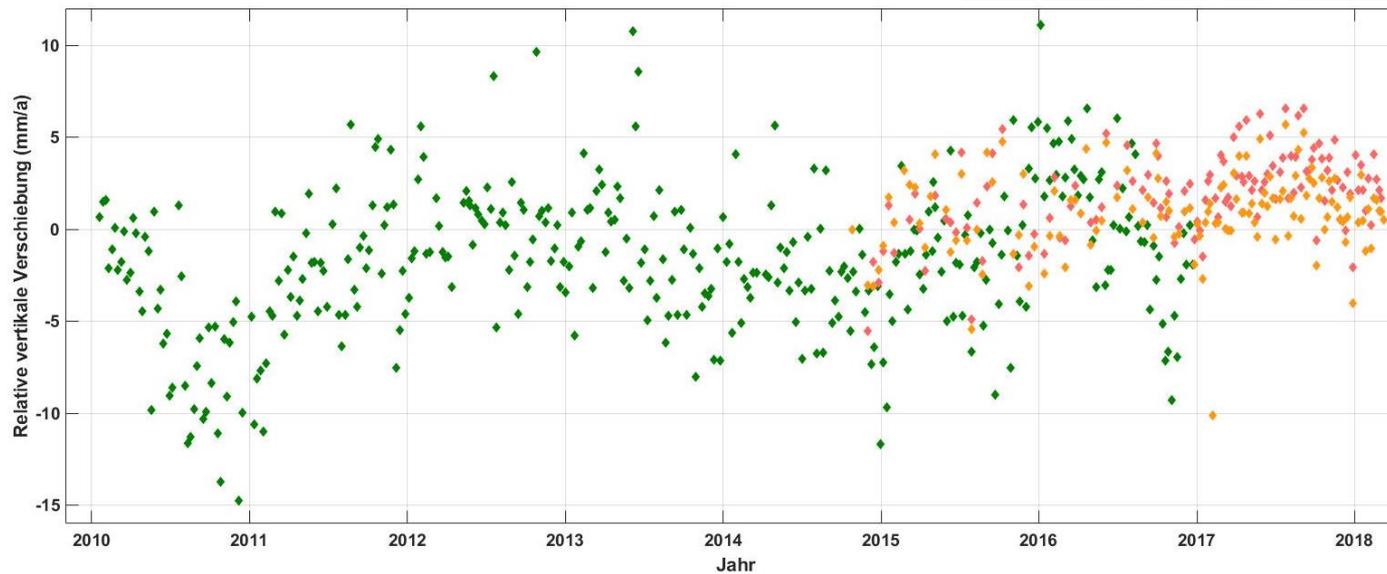
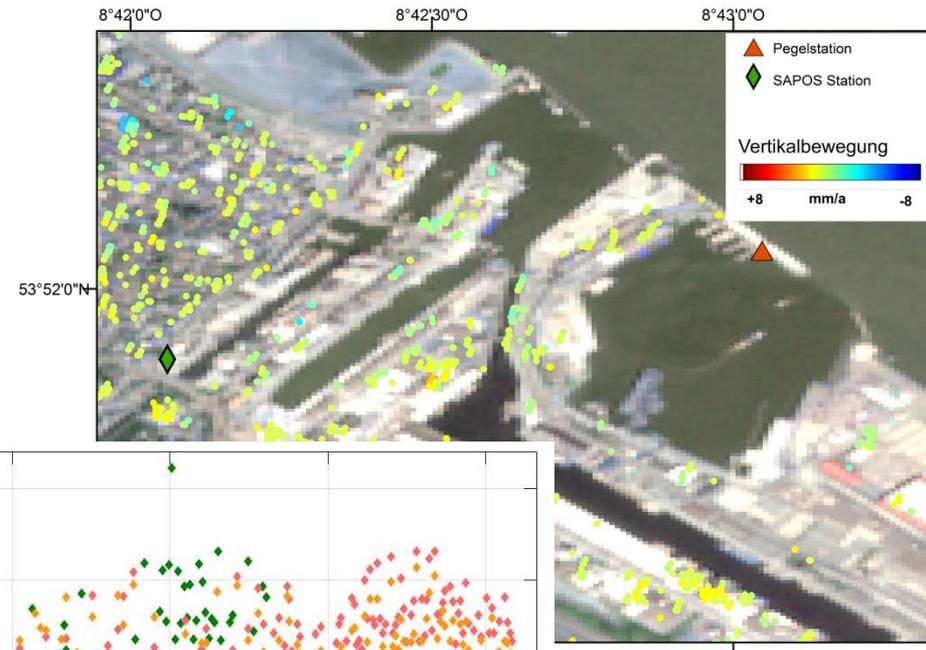


Anpassen des Modells:

- Verteilung der PS ist nicht homogen:
 - Zusammenfassen von PS durch Clustering (Position der RBF).
 - Anpassen der Breite der RBF in Abhängigkeit vom Abstand zu den Nachbar RBF.
- Definition von Gebieten mit vergleichbaren Bewegungsverhalten (z. B. anthropogener Ursachen).
- Nichtlineare Bewegungen, realisiert durch RBF.

Detailstudie in Cuxhaven

- Vergleich der Zeitreihe von Patch 2 & 3 mit GNSS Zeitreihe



Zusammenfassung & Ausblick

PS- Lösung für die deutsche Küste auf Basis von 3,5 Jahren Sentinel-1 Daten

Kopplung des erweiterten IKÜS-Modells/-Lösung aus GNSS mit

- a) flächenhaften vertikalen Bewegungsfeldern aus der Radarinterferometrie,
- b) linienhaften Nivellements
- c) und Geowissenschaftlicher Information

