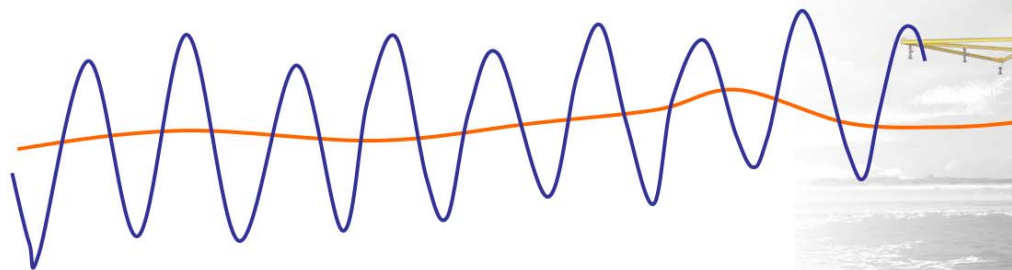


Wasserstandänderungen & vertikale Landbewegungen:



Monitoring, Unsicherheiten und Auswirkungen



Hartmut Hein

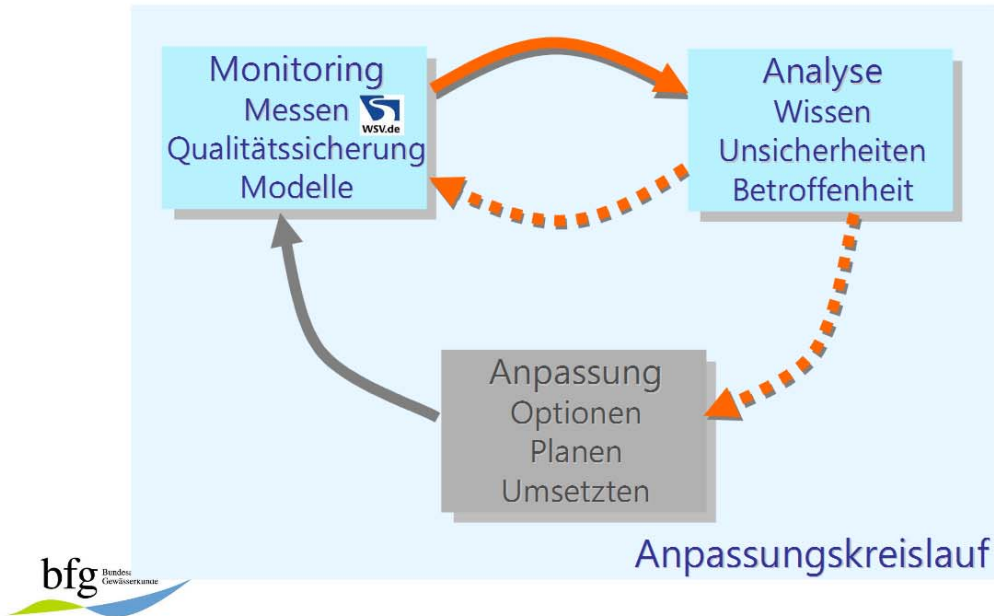
„Soweit Wasserstandbeobachtungen von der deutschen Nordseeküste vorliegen, zeigen sie, dass die Jahresmittelwerte des Tidehochwassers und des Tideniedrigwassers allmählich ansteigen...

Fehlerhafte Ablesungen, Sackungen des den Pegel tragenden Bauwerkes, Höhenverschiebungen des Pegelnullpunktes ..., Änderung der örtlichen Strömungsverhältnisse, Änderungen des Salzgehaltes ... usw. werden teilweise auch heute noch als Ursachen für ein nur scheinbares Ansteigen genannt“

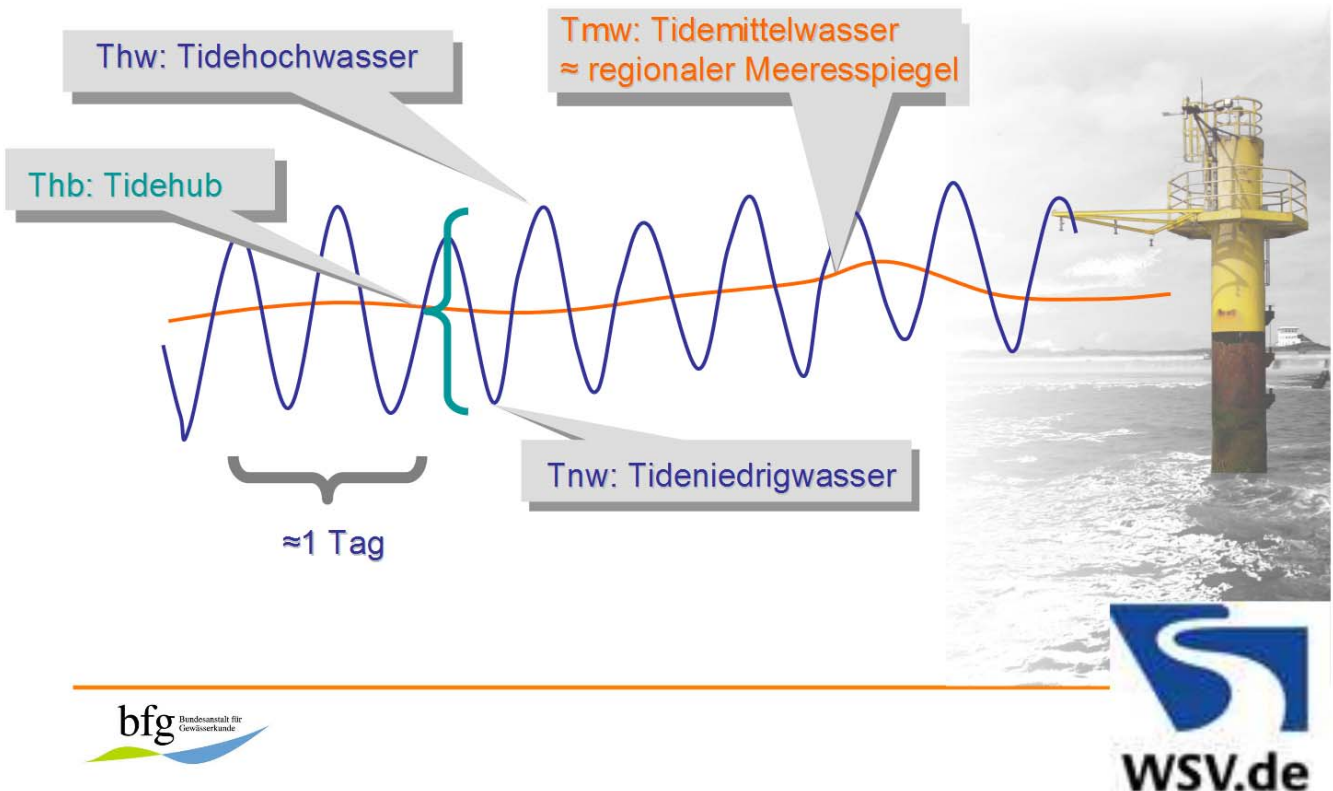
K. Lüders, 1936

Ziele

- Relative & absolute Variation des regionalen Meeresspiegels
- Historisch & zukünftig | inklusive **Unsicherheiten**
- Auswirkungen auf Tidekennwerte & Seegang



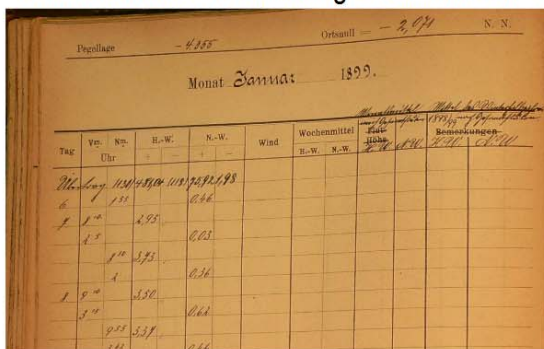
Tidekennwerte





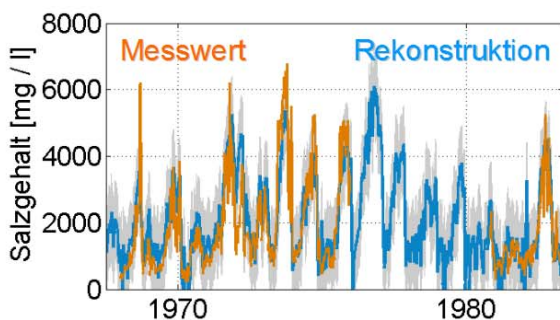
Messen – Grundlage des Wissens

Wasserstandsaufzeichnung Bremerhaven 1899



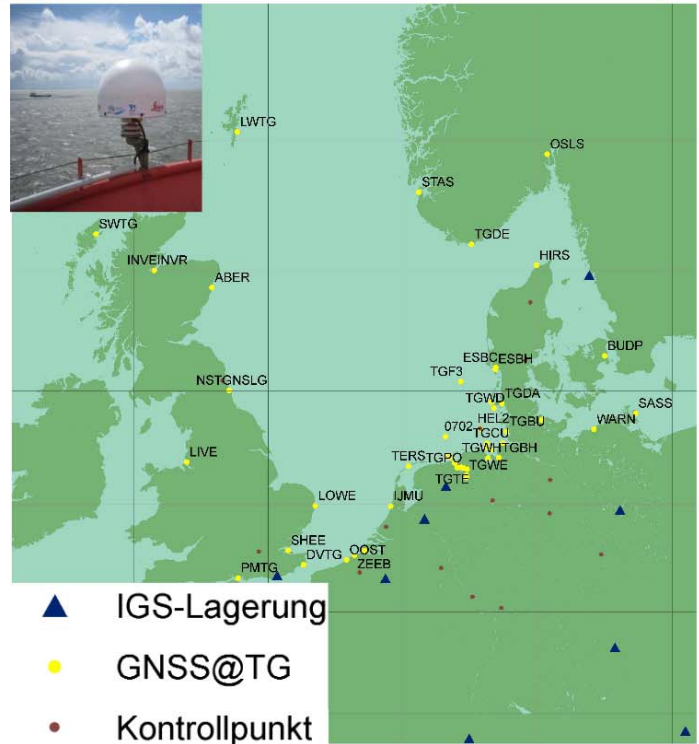
Tag	Ver. Uhr	Nr.	H.-W.	N.-W.	Wind	Wochenmittel
Monat: <i>Januar</i> 1899						
<i>1</i>	<i>11:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		
<i>2</i>	<i>1:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		
<i>3</i>	<i>3:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		
<i>4</i>	<i>5:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		
<i>5</i>	<i>7:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		
<i>6</i>	<i>9:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		
<i>7</i>	<i>11:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		
<i>8</i>	<i>1:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		
<i>9</i>	<i>3:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		
<i>10</i>	<i>5:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		
<i>11</i>	<i>7:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		
<i>12</i>	<i>9:00</i>	<i>113</i>	<i>2,95</i>	<i>0,66</i>		

1. Messnetz
2. Rettung historischer küstenhydrologischer Daten
3. Qualitätssicherung
Hochauflösende Wasserstände
Salzgehaltsdaten
Automatische Verfahren
4. Erschließung aktueller Sensorik
Seegangsradar
Satellitenbasierte Verfahren
(z. B. Gravimetrie)



„Steigt der Meeresspiegel oder sinkt das Land mit dem Pegel ?“

- Höhenüberwachung
Pegelnulldpunkte
 - a) Ableitung Höhenänderungen
 - b) Bestimmung **absoluter** Höhen
- **homogenes Referenzsystem**
- Ergänzung herkömmlicher Verfahren mittels GNSS
- Grenzüberschreitende Höhenbestimmungen

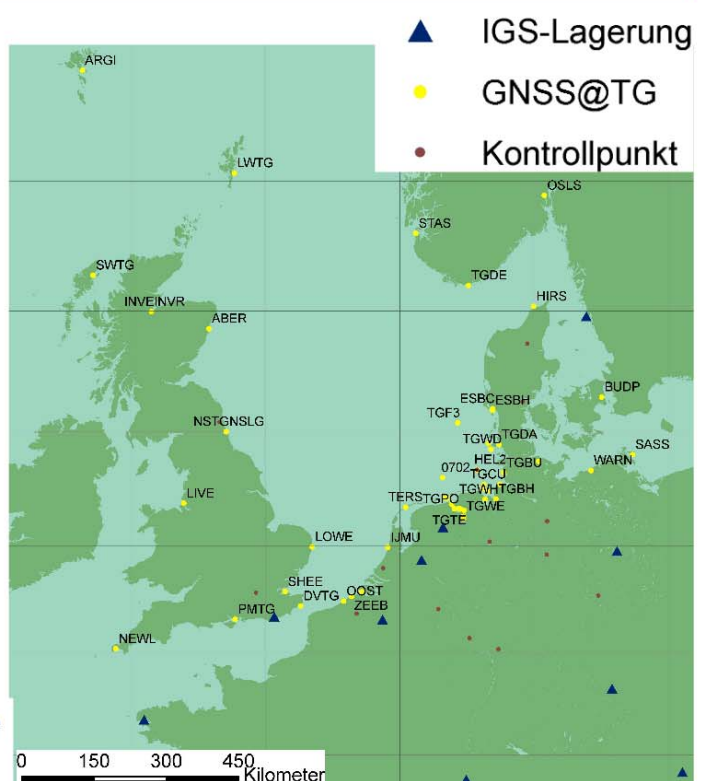


GNSS ... Global Navigation Satellite System



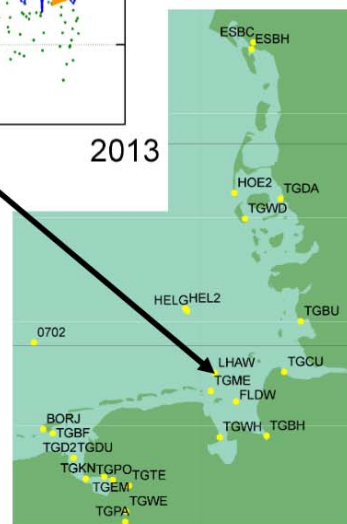
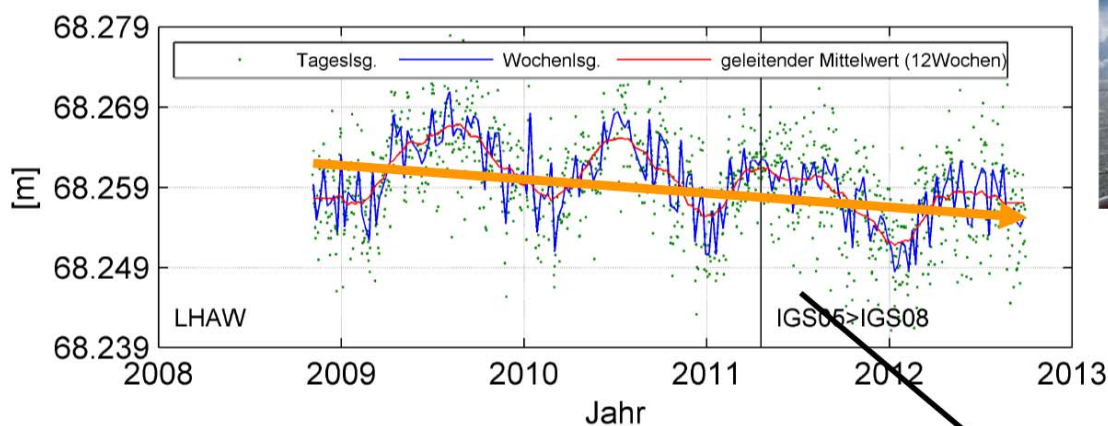
Vertikale Landbewegungen

- **Stationsnetzwerk**
 - GNSS-Pegelstationen (19xBfG, 6xBKG, 25 sonst.)
 - Kontrollstationen (EPN² und IGS³)
 - Lagerungsstationen (IGS-Framesites)



1 BKG: Bundesamt f. Kartografie & Geodäsie
 2 EPN: European Permanent Network
 3 IGS: International GNSS Service

Vertikale Landbewegungen



Beispiel: Leuchtturm Alte Weser
 Höhenabnahme: -0.4mm/a ($\pm < 4\text{ mm/a}$)

Vertikale Landbewegungen



Legende

- GNSS@TG
- Hauptnivellements BfG
- DHHN - Erneuerung

Vergleich mit Hauptnivellements (BfG)

$$4\text{ mm} < \Delta < 8\text{ mm}$$

Δ = Unsicherheiten von GNSS, Schwerfeld und Nivellement

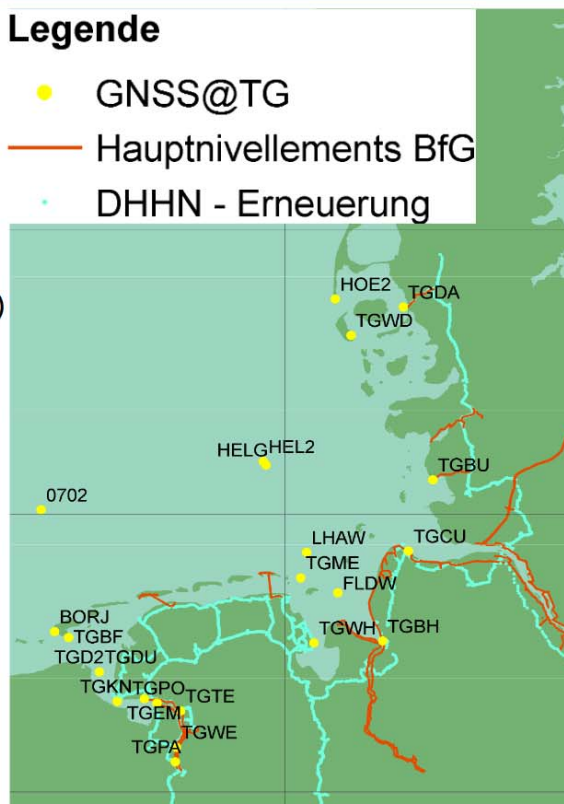
Vergleich mit anderen Ergebnissen

z.B. Borkum-Fischerbalje

DGFI: $-1,2\text{mm/Jahr}$

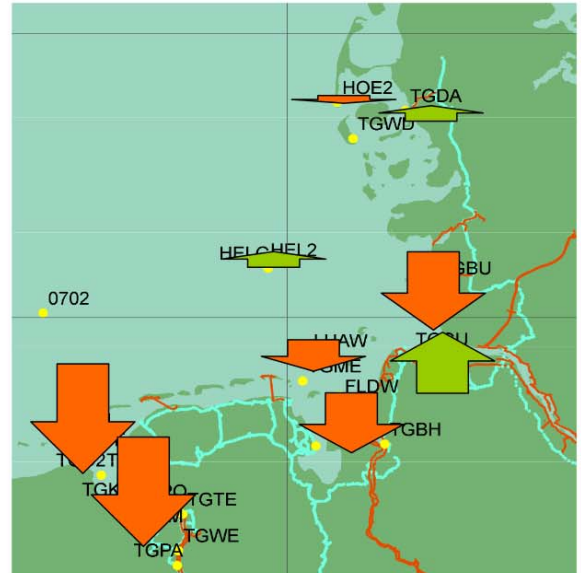
BfG: $-1,4\text{mm/Jahr}$

➔ **Übereinstimmung**



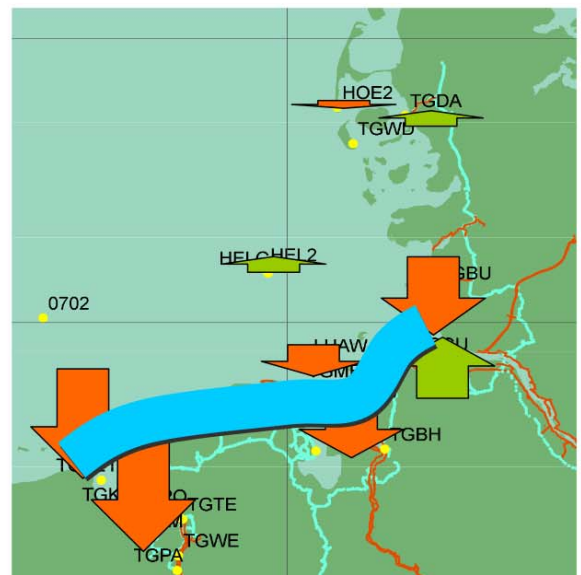
Vertikale Landbewegungen

- Veränderungen visuell erkennbar, aber statistisch noch nicht signifikant
 - Veränderungen:
 - 1.5mm/a bis +0.5mm/a
 - Jährliche Variabilität max. 5mm
 - Standardabweichung < 4mm
- Lokale Variationen

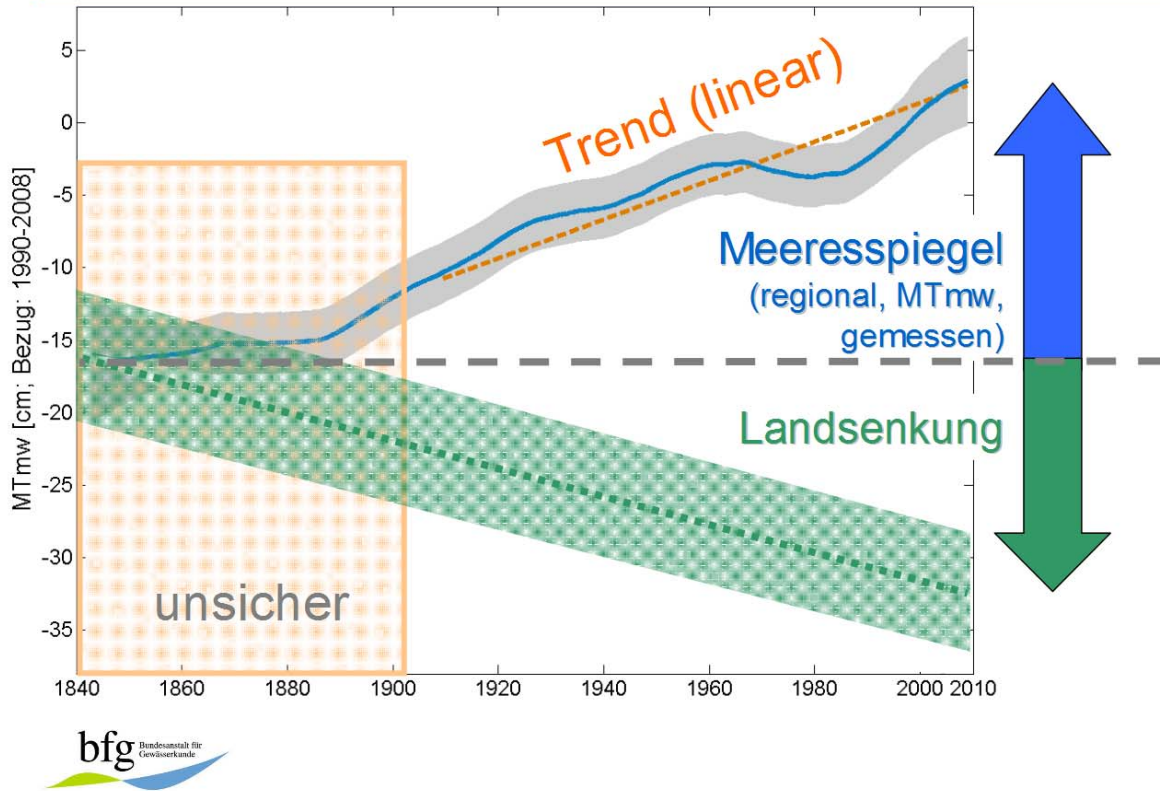


Vertikale Landbewegungen

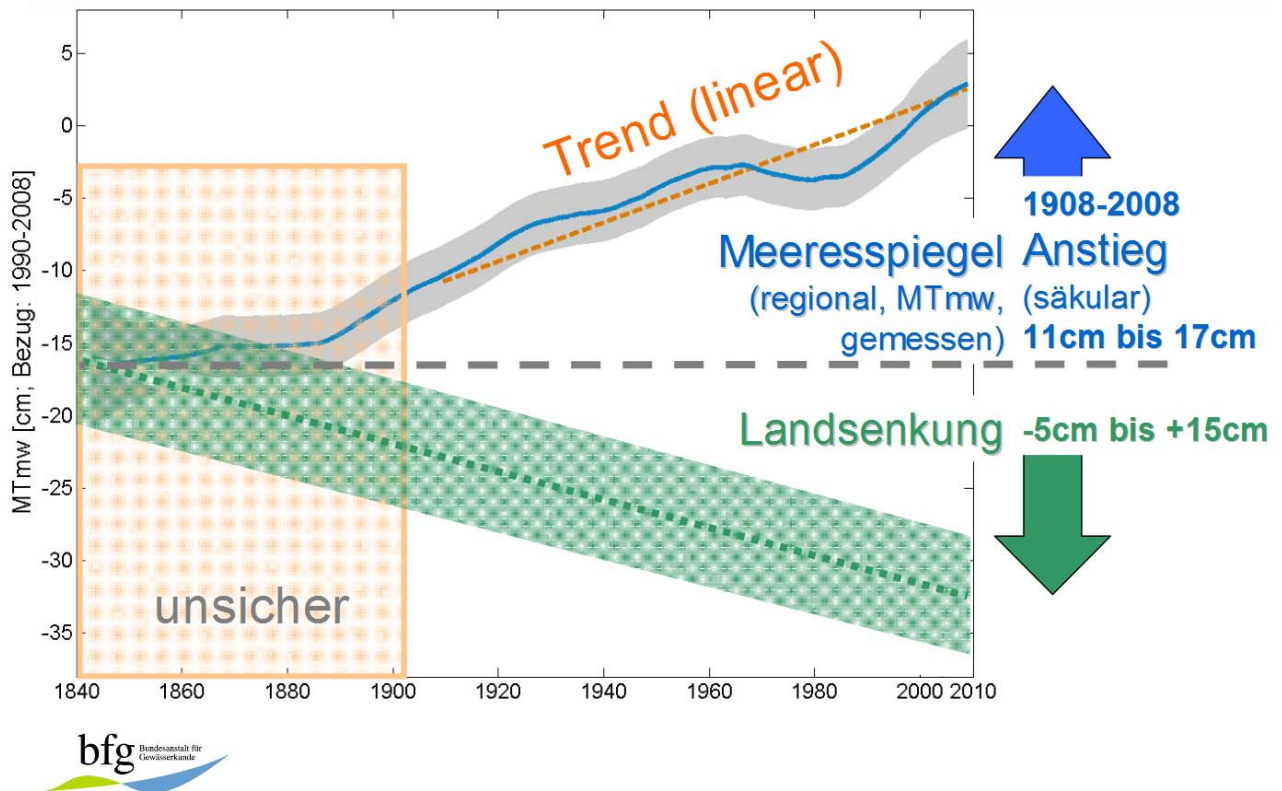
- Veränderungen visuell erkennbar, aber statistisch noch nicht signifikant
 - Veränderungen:
 - 1.5mm/a bis +0.5mm/a
 - Jährliche Variabilität max. 5mm
 - Standardabweichung < 4mm
- Lokale Variationen



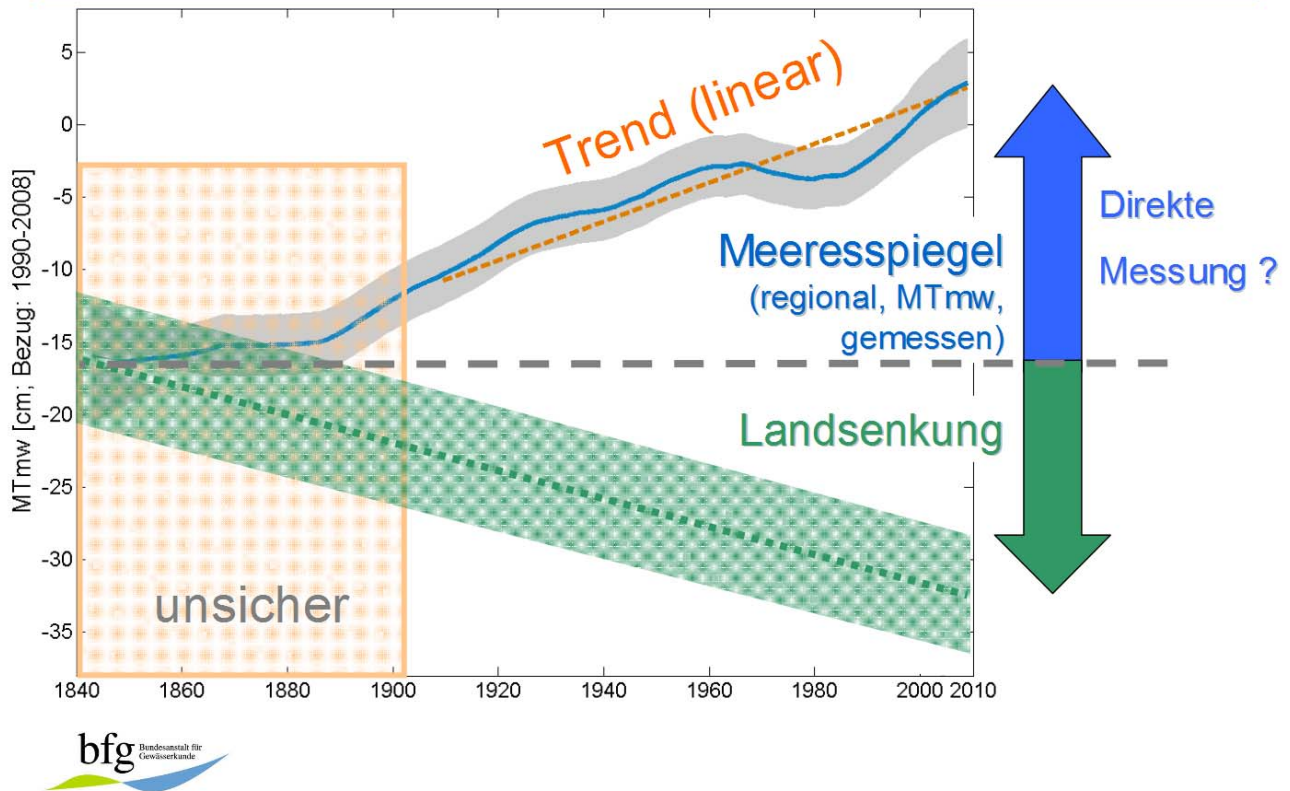
Untersuchung historischer Veränderungen von Wasserständen



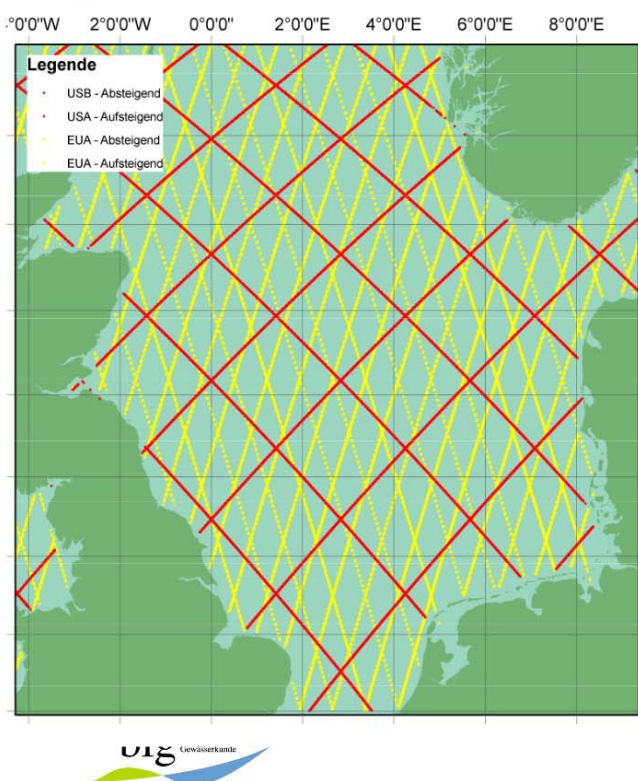
Untersuchung historischer Veränderungen von Wasserständen



Untersuchung historischer Veränderungen von Wasserständen



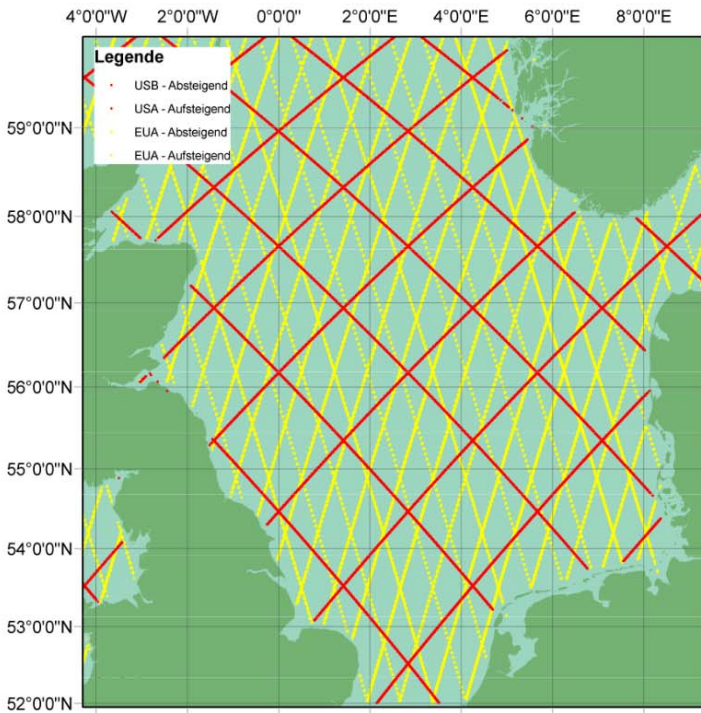
Satellitenaltimetrie



„Pegel am Himmel“

- Messungen seit 1992
- Global „State of the Art“
- Nutzbarkeit und Unsicherheiten für Anwendungen im Küstenbereich?
- Wiederkehrperiode:
 - Jason 1: ca. 10 Tage
 - ENVISAT: ca. 35 Tage
- Herausforderung: Gezeitensignal
- *Instantane* Altimeterbeobachtungen vs. Pegelbeobachtungen

Meeresoberfläche aus dem Erdorbit



Missionen CNES/NASA

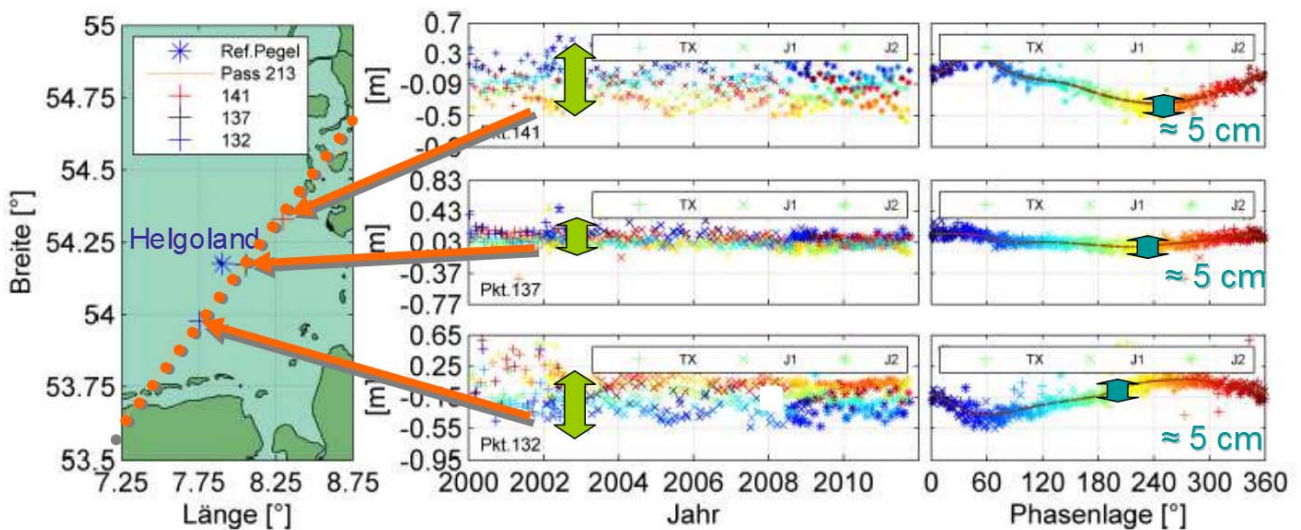
- Topex: 1992-2002
- Jason-1: 2002-2009
- Jason-2: 2008-...

Missionen der ESA

- ERS2: 1995-2003
- Envisat: 2002-2012

Satellitenaltimetrie

Altimeterbeobachtungen vs. Pegelbeobachtungen

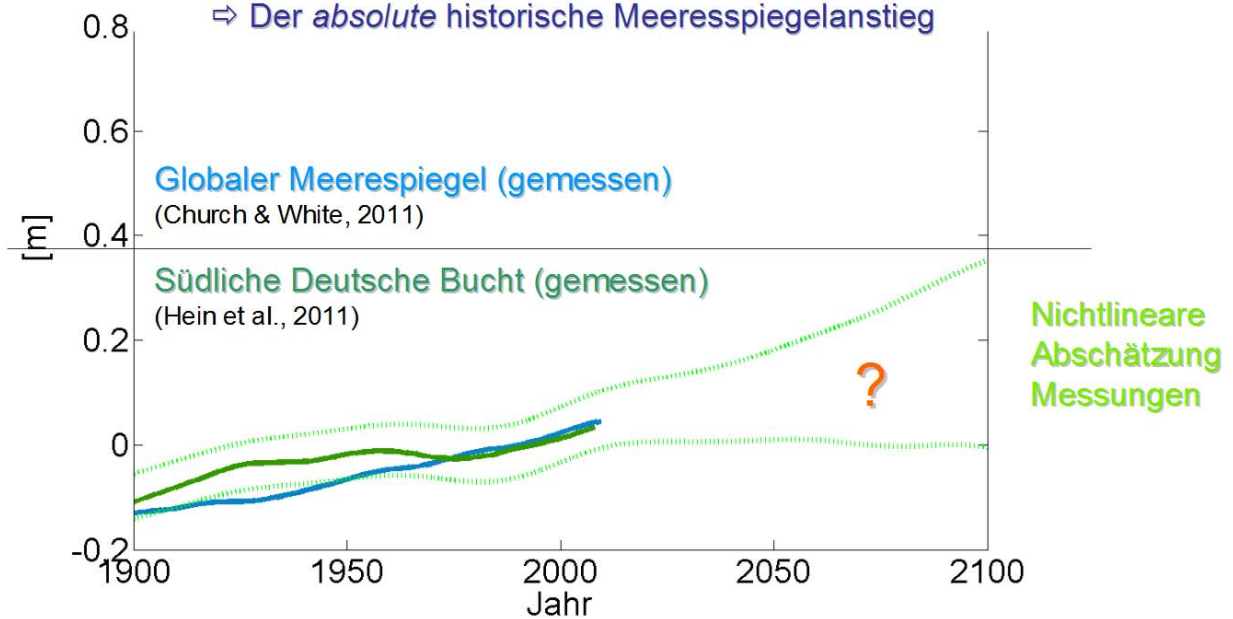


Tidephasenabhängige Differenzen \Rightarrow „empirische Tidephasenkorrektur“

Anstieg Tidemittelwasser bis 2100

„Steigt der Meeresspiegel oder sinkt das Land mit dem Pegel?“
 „Pegel am Himmel“

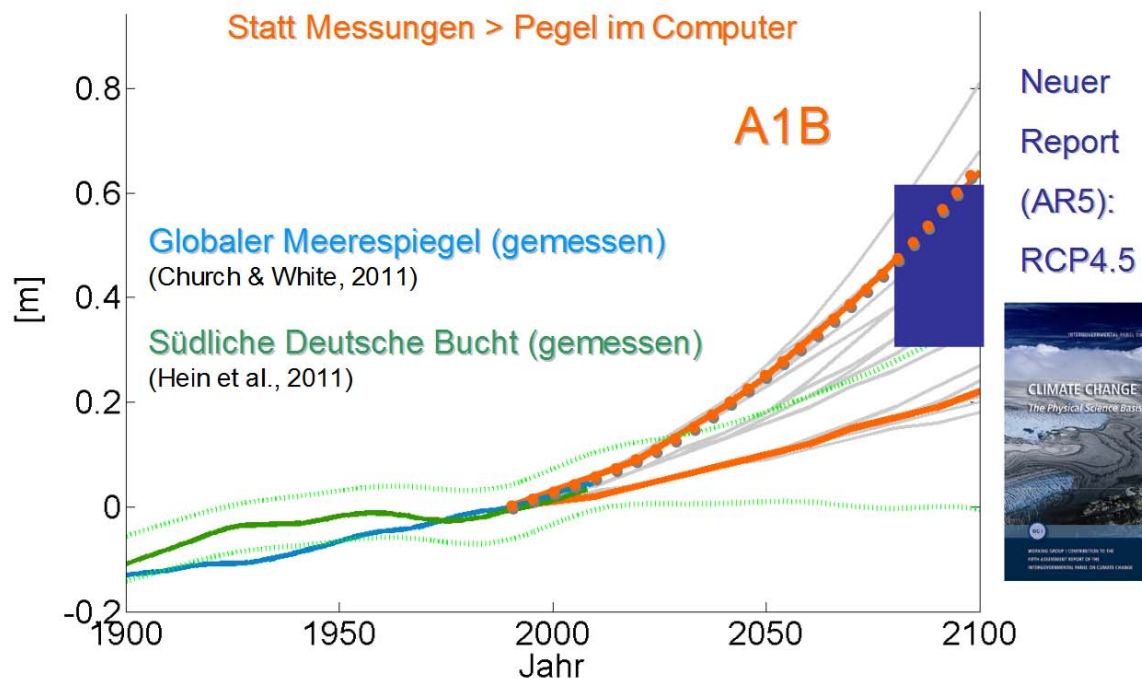
⇒ Der absolute historische Meeresspiegelanstieg



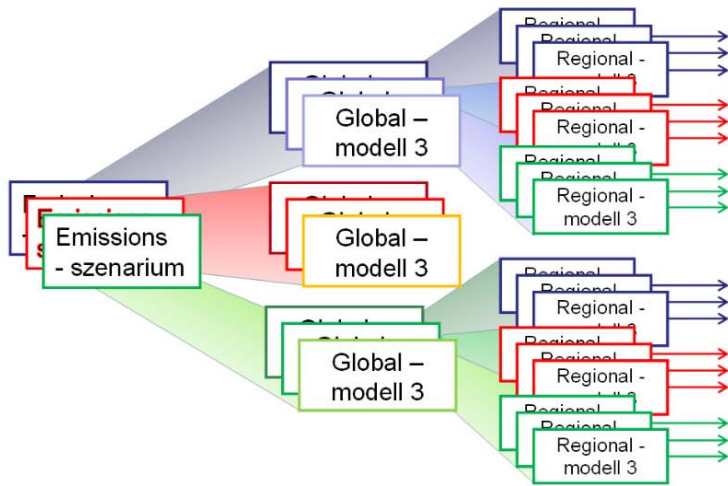
Anstieg Tidemittelwasser bis 2100 (IPCC)

Der absolute zukünftige Meeresspiegelanstieg

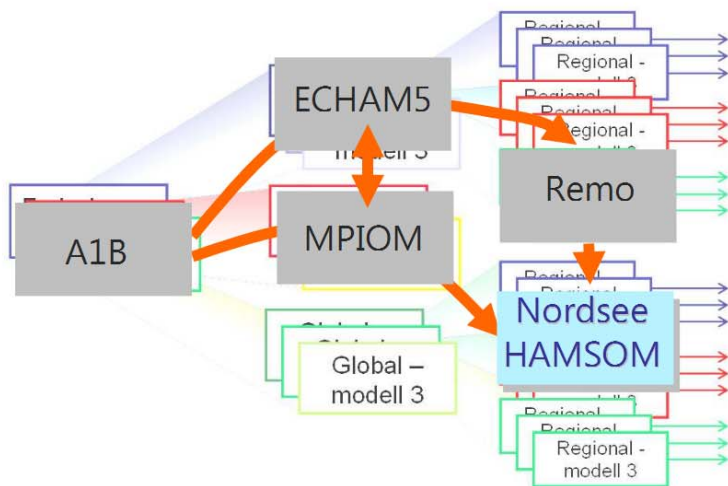
Statt Messungen > Pegel im Computer



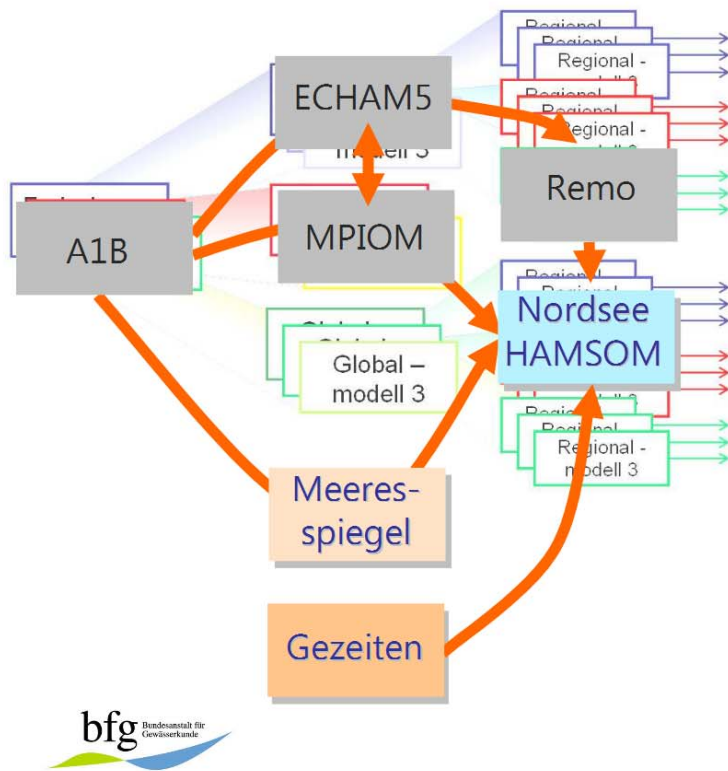
Modelkette



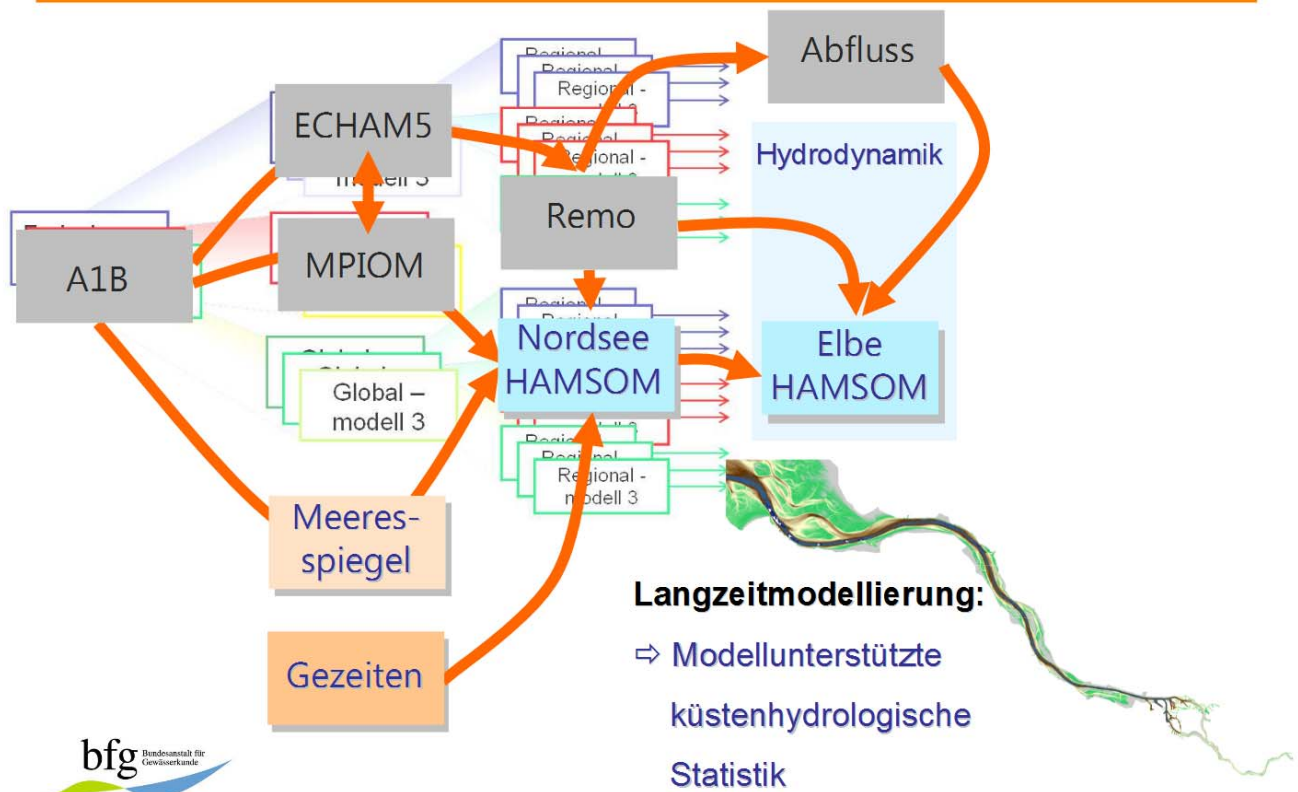
Modelkette



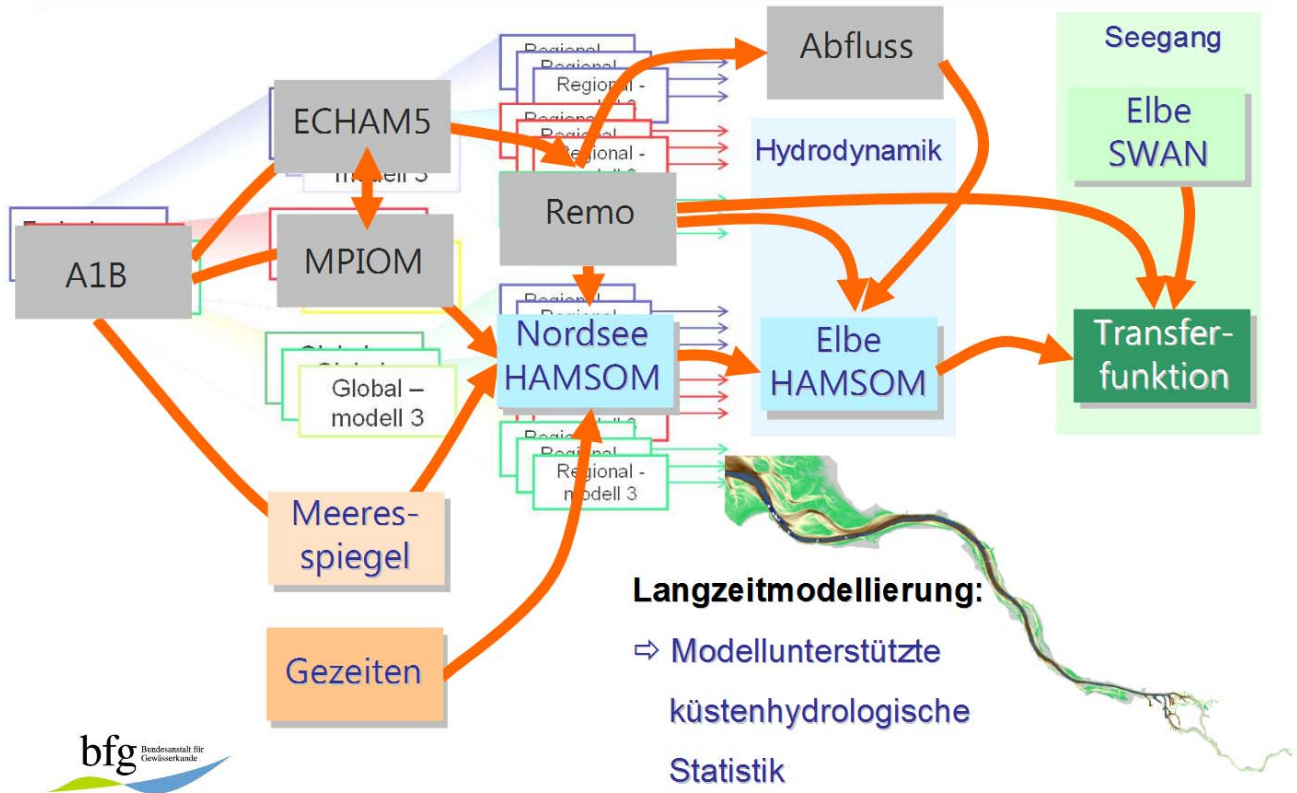
Modelkette



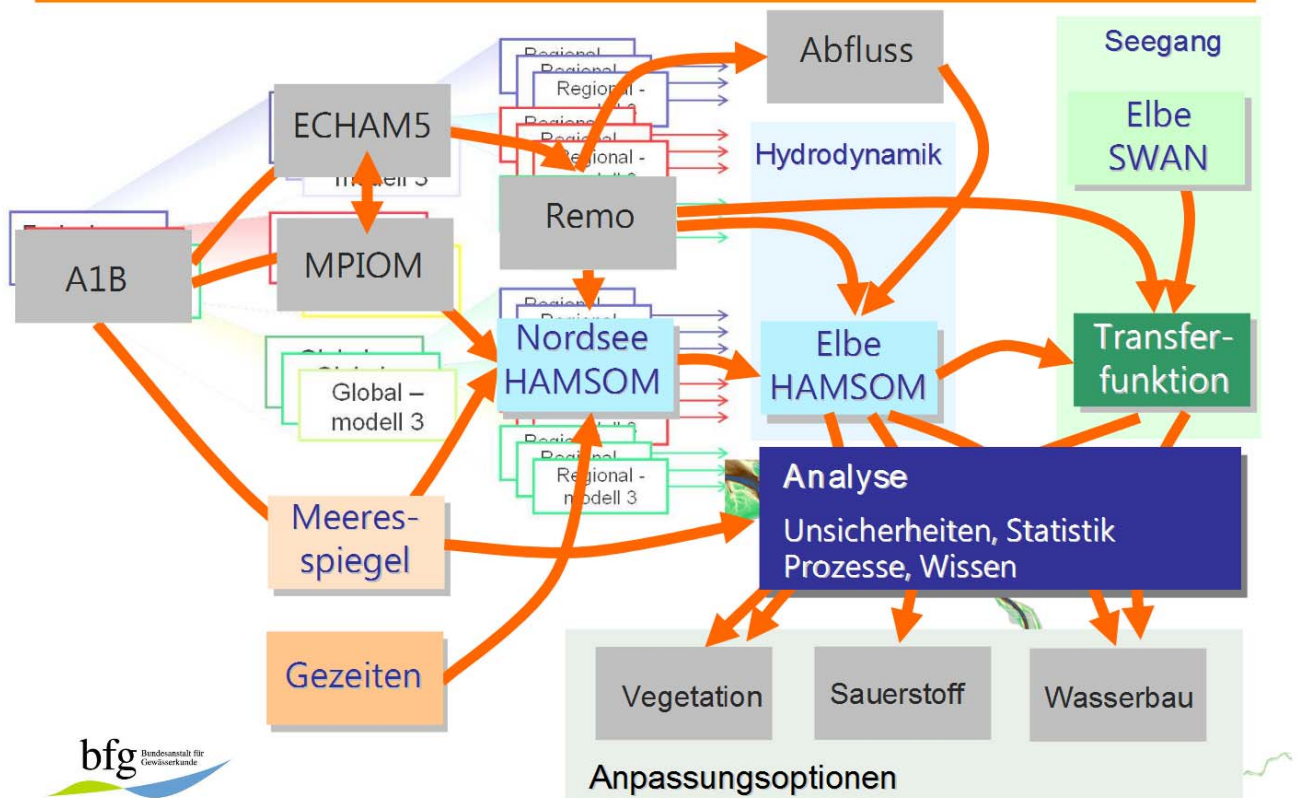
Modelkette



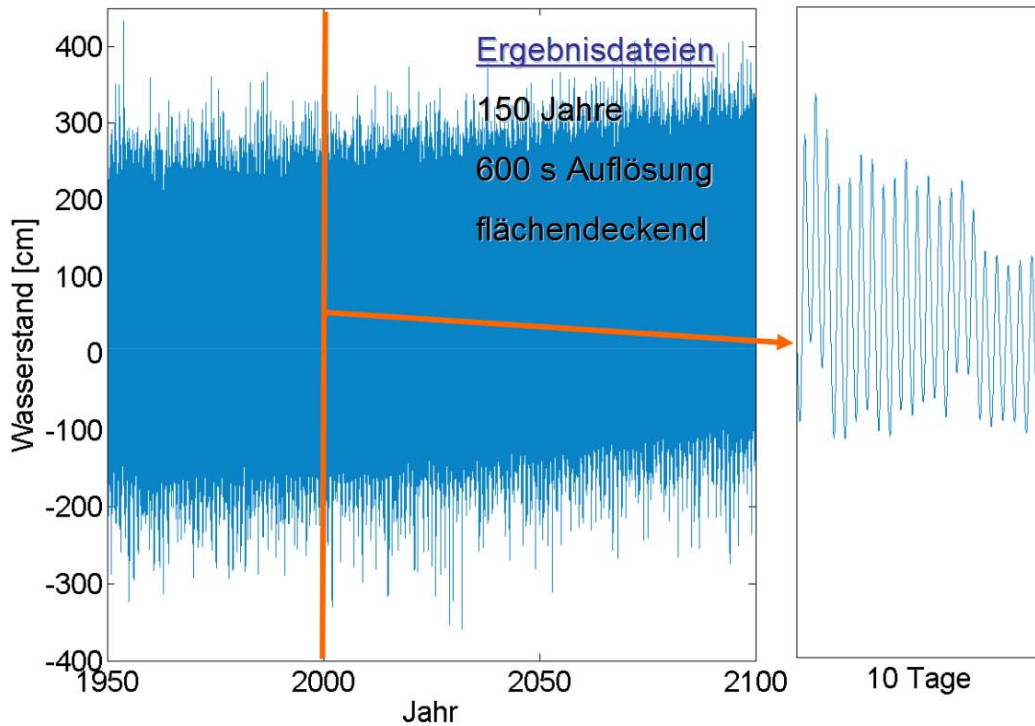
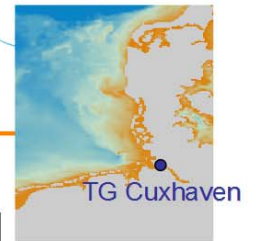
Modelkette



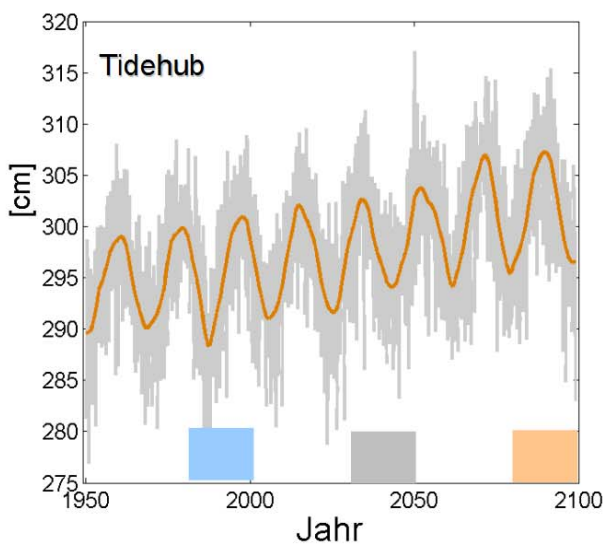
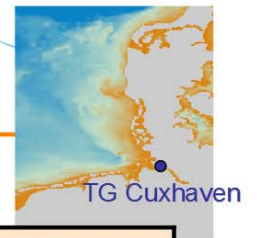
Modelkette



Zukünftige Tidekennwerte



Zukünftige Tidekennwerte



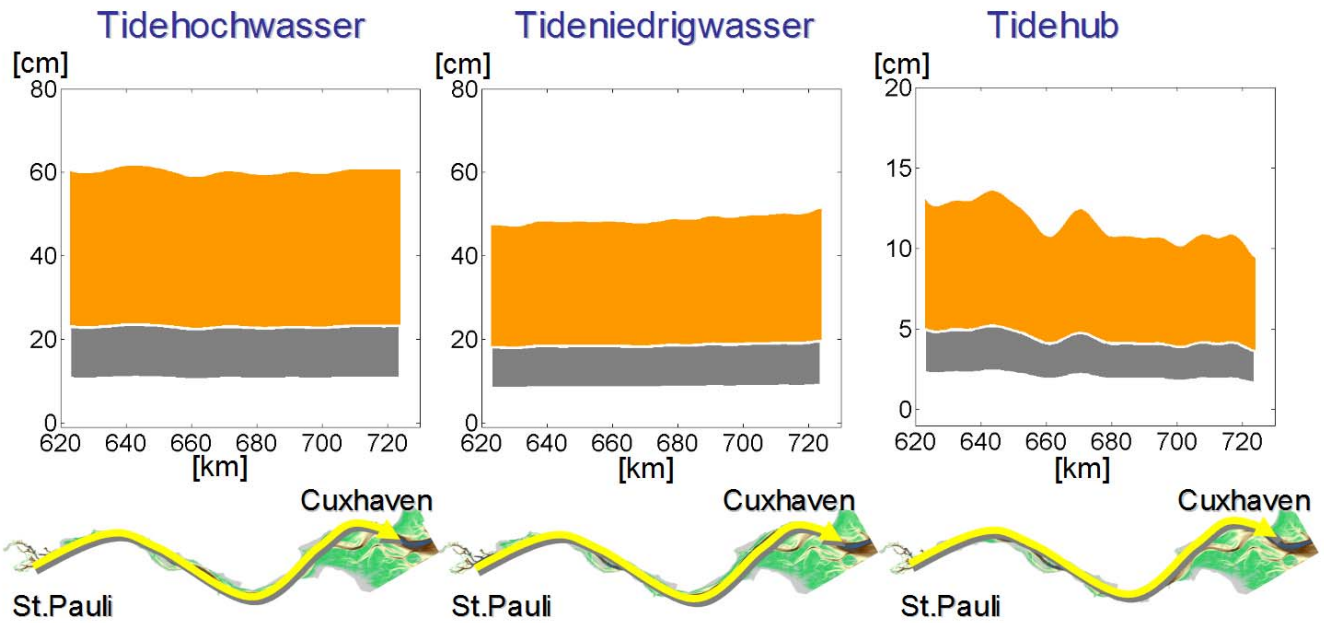
CUX	Nahe Zukunft 2031-2050 [cm]	Ferne Zukunft 2081-2100 [cm]
Tmw	10 - 20 (IPCC)	20 - 55 (IPCC)
Thw	10 - 22	22 - 60
Tnw	10 - 18	18 - 50
Thb	2 - 4	4 - 10

Veränderung der Tidekennwerte im A1B Szenario (IPCC)

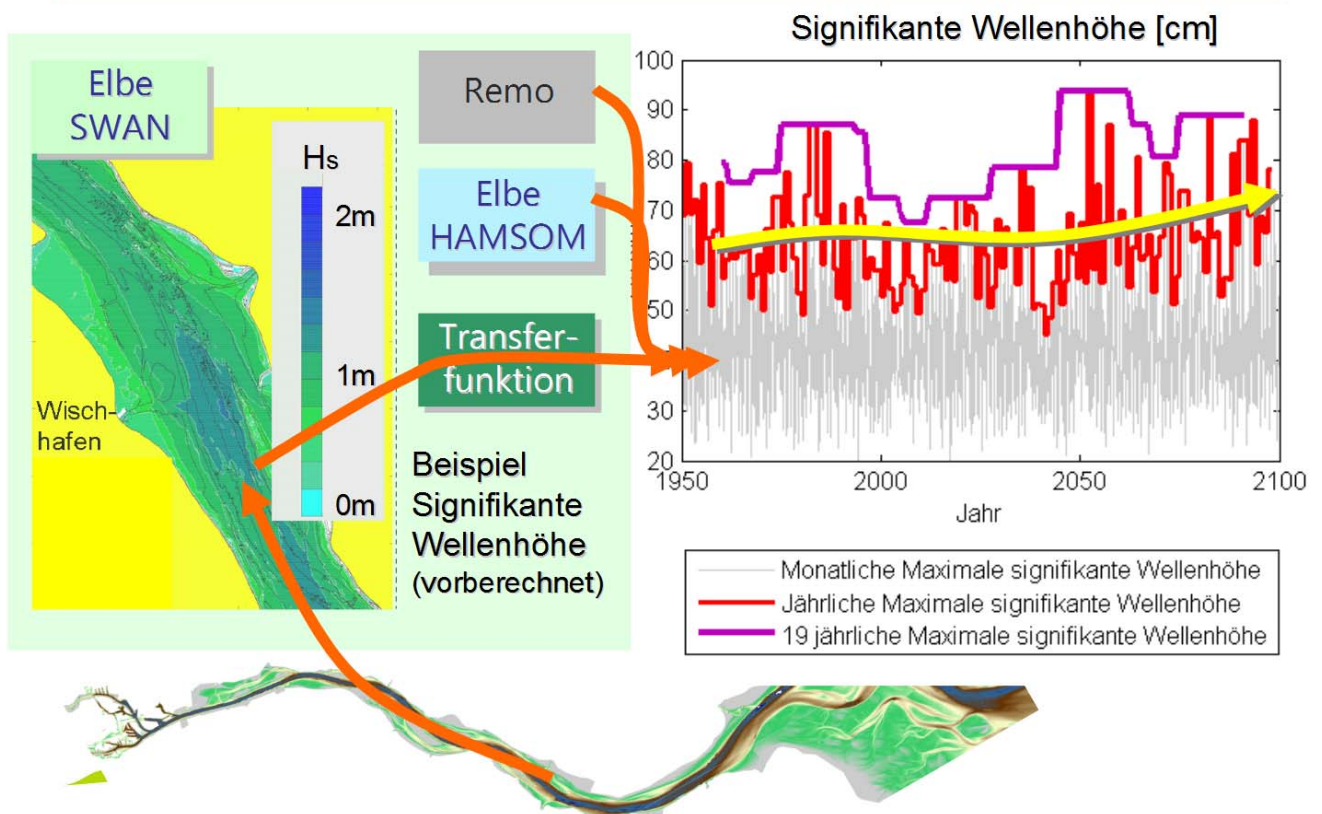
Achtung: Regional unterschiedlich ⇒ Einzelpunktbeobachtung

Zukünftige Tidekennwerte

Änderung Tidekennwerte (Elbe) in der nahen Zukunft und **fernen Zukunft**



Seegang (Modelkette)



Kernaussagen

- ✓ Messen & Qualitätssicherung: historische Daten, Pegelnullpunkte, ...
 - ✓ Historische Änderungen: Tmw: 14 cm / 100 a + ca. -5 – 15 cm Landbewegung
Thw > Tmw | Tnw < Tmw | regional Unterschiedlich
⇒ Thb nimmt zu!
 - ✓ Zukünftige Änderungen: *Szenario A1B, Referenz 1981 - 2000*
Nahe Zukunft | Tmw = 10 cm - 20 cm | 2031 - 2050
Ferne Zukunft | Tmw = 20 cm - 55 cm | 2081 - 2100
Thw > Tmw | Tnw < Tmw | regional Unterschiedlich
⇒ Thb nimmt zu!
 - ✓ Inhärente Variabilität: 10 cm - 20 cm inter-annual | 10 cm - 20 cm saisonal
bei Anpassung berücksichtigen | *Nodaltide*
 - ✓ Modellunterstützte regionalisierte küstenhydrologische Statistik
 - ✓ Betroffenheit | Grundlagen für Anpassungsoptionen ⇒ siehe folgende Vorträge
 - ⇒ Analyse der inhärenten physikalischen Prozesse
- ⇒ Unaufgeregte, kontinuierliche, wissenschaftliche & gewässerkundliche Begutachtung der geodätischen und küstenhydrologischen Parameter zur aufdatierten Abschätzung der Betroffenheit

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Dr. Hartmut Hein

Dr. Stephan Mai
Dr. habil. Ulrich Barjenbruch
Dr. Astrid Sudau
Robert Weiss
hein@bafg.de

