

17. März 2020

Abschlussveranstaltung

EasyGSH-DB

TU Hamburg (TUHH)

EasyGSH.



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Förderkennzeichen: 19F2004A-D

mFUND
Das Startkapital für die Mobilität 4.0

Veranstaltungsbeiträge

Vorstellung von EasyGSH-DB

Dr. Andreas Plüß (BAW)

Datenprodukte - Teil 1: Geomorphologie und Sedimentologie

apl. Prof. Dr. Peter Milbradt (smile consult GmbH)

Datenprodukte - Teil 2: Hydrodynamik

Robert Hagen (BAW), Dr. Edgar Nehlsen (TUHH), Janina Freund (BAW)

Datenportal

Romina Ihde (BAW)

Informationsplattform

Nico Schrage (TUHH)

Vorstellung des Beteiligungsprozesses

Dr. Jürgen Meyerdirks (Küste und Raum)

Einblick in die Prototyping Partnerschaften (PP)

PP Randwerte (Robert Hagen)

PP Lebensraumtypen (apl. Prof. Dr. Peter Milbradt)

PP Trockenfallkarten (Dr. Andreas Plüß)

PP Wattkanten (Dr. Andreas Plüß)

PP Morphologischer Raum (Malte Rubel)

Robert Hagen
Janina Freund
Andreas Plüß

Hydrodynamik

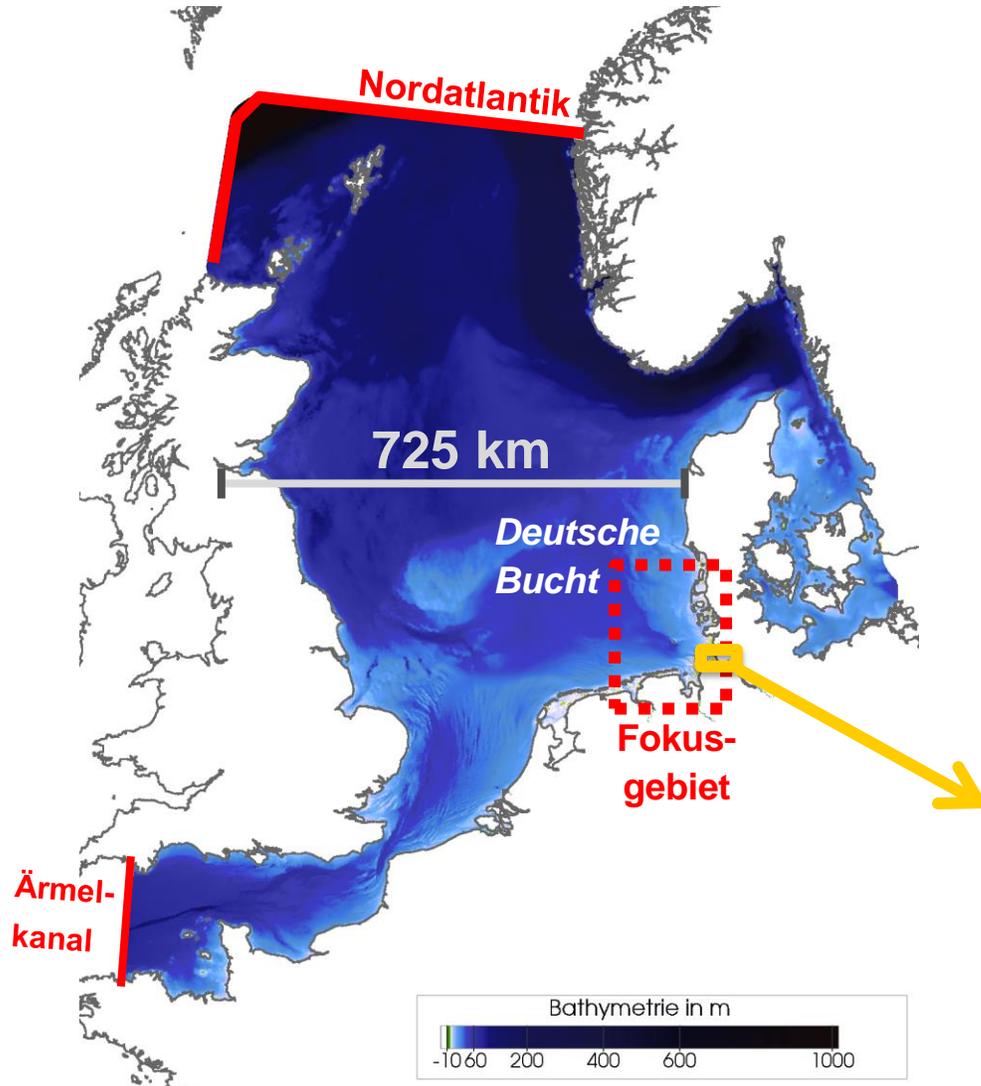
Das UnTRIM² Nordseemodell

Abschlussveranstaltung EasyGSH-DB

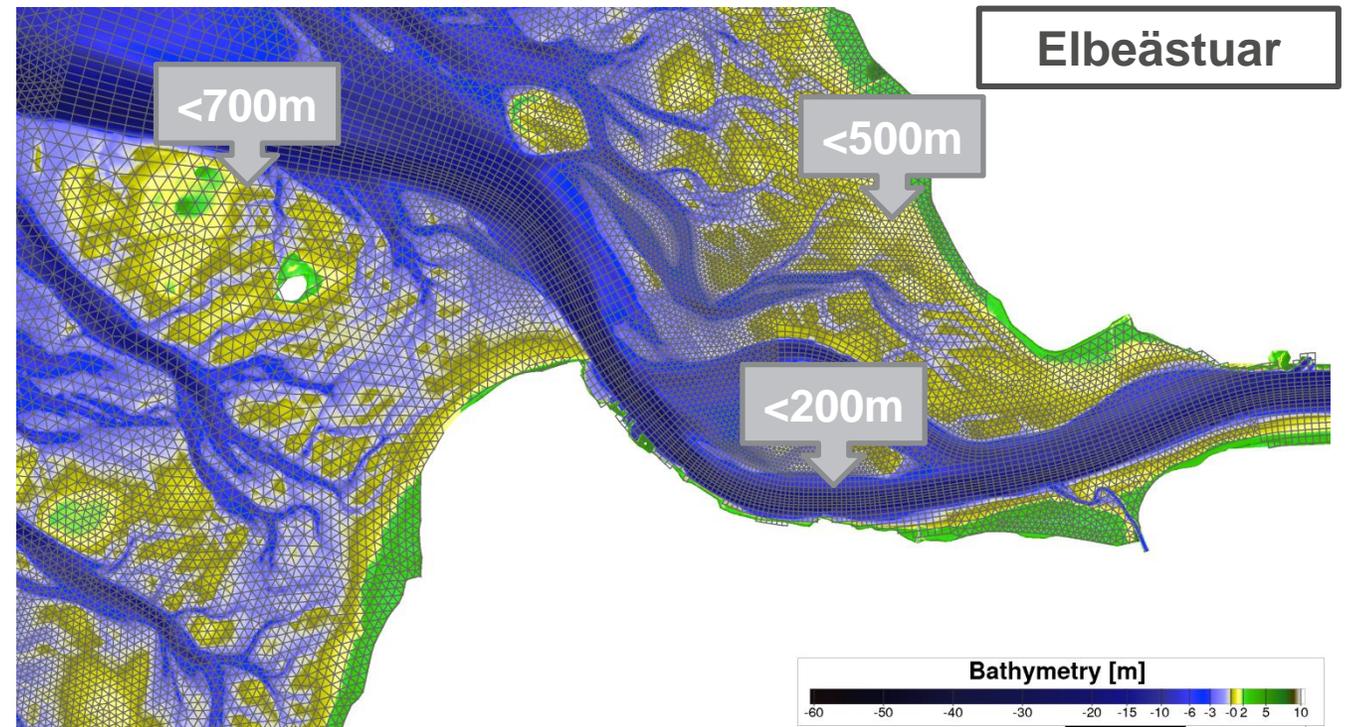
Hamburg, 17.03.2020

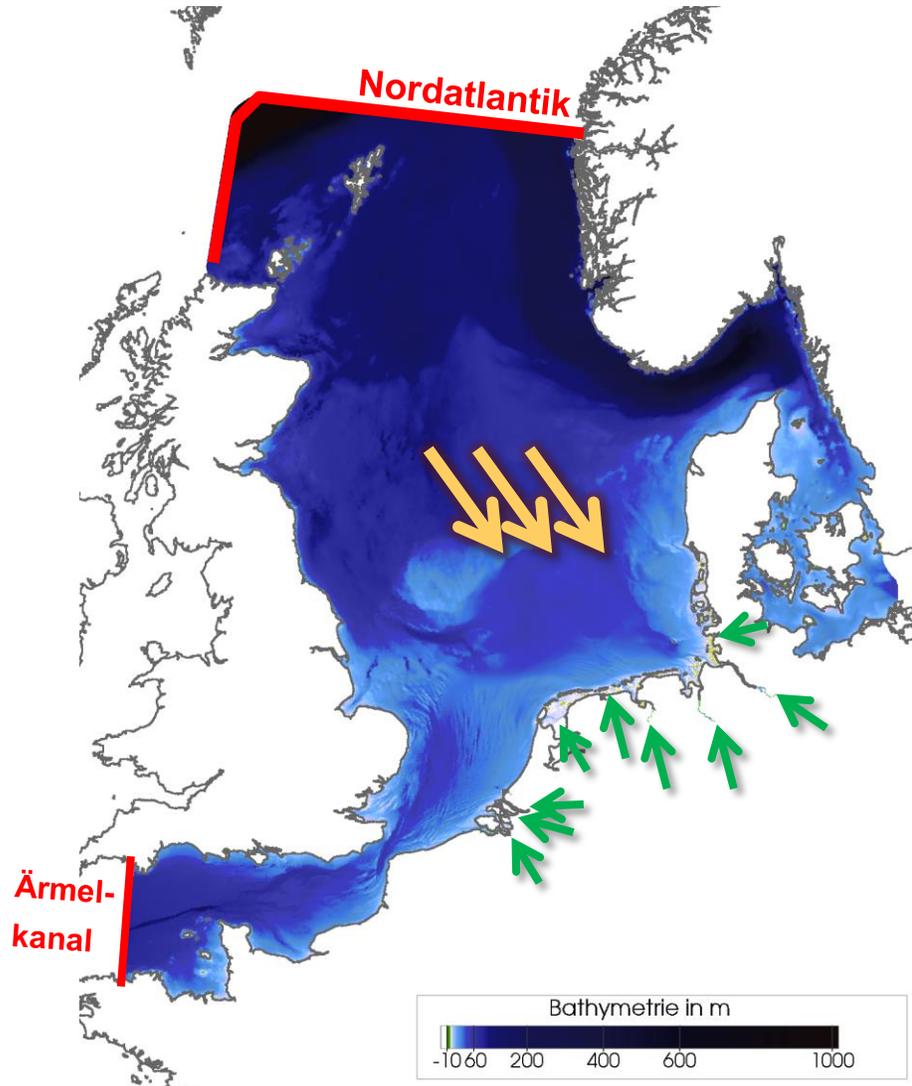
1. Modellaufbau
2. Modellvalidierung
3. Wasserstände
4. Datenanalyse
5. Zusammenfassung

Hinweis: Die ausführliche [Modellvalidierung](#) können Sie online abrufen.

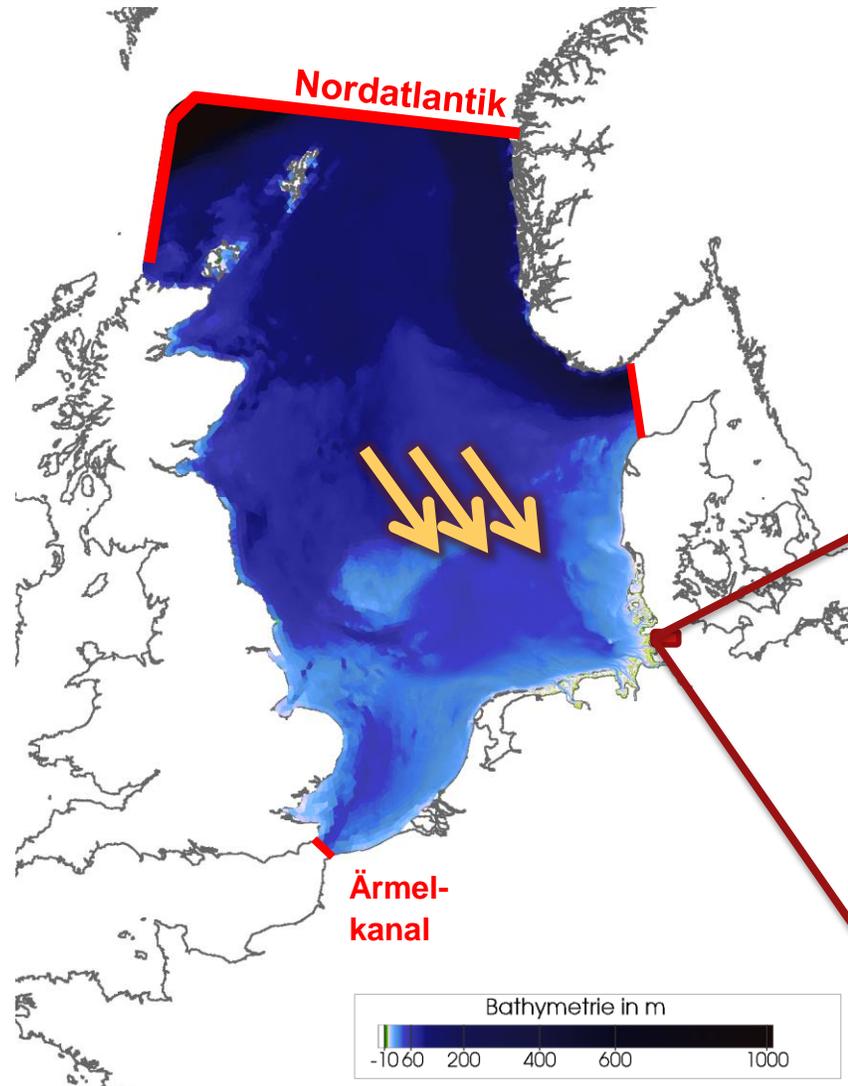


- **Horizontale Auflösung** im Fokusgebiet zwischen 40 bis 2.000m
- **Vertikale Auflösung** mit 54 z-Layern, hohe Auflösung bis -20m
- **Ästuare (Ems, Weser, Elbe)** bis zur Tidegrenze berücksichtigt
- Variable Subgrid Modellierung mit **Jahrestopographien** 1996-2015
- Online **Seegangskopplung** zwischen UnTRIM² und UnK





- **Offener Rand:**
 - Wasserstand: FES2014b
 - Fernwelle: aus Messungen
- **Meteorologie**
 - COSMO-REA6 (Temperatur, Luftdruck, Wind)
- **Oberwasser (Messung)**
- **Anfangsbedingungen:**
 - Initial 1995 aus Klimatologie (Janssen et al., 1999)
 - Anschließend *fortlaufend* errechnet
 - Jahresbathymetrie
- **Ergebnisgrößen:**
 - Hydrodynamik (Wasserstand, Strömung)
 - Salztransport
 - Wärmetransport
 - Seegang
 - Sedimenttransport



▪ Diskretisierung:

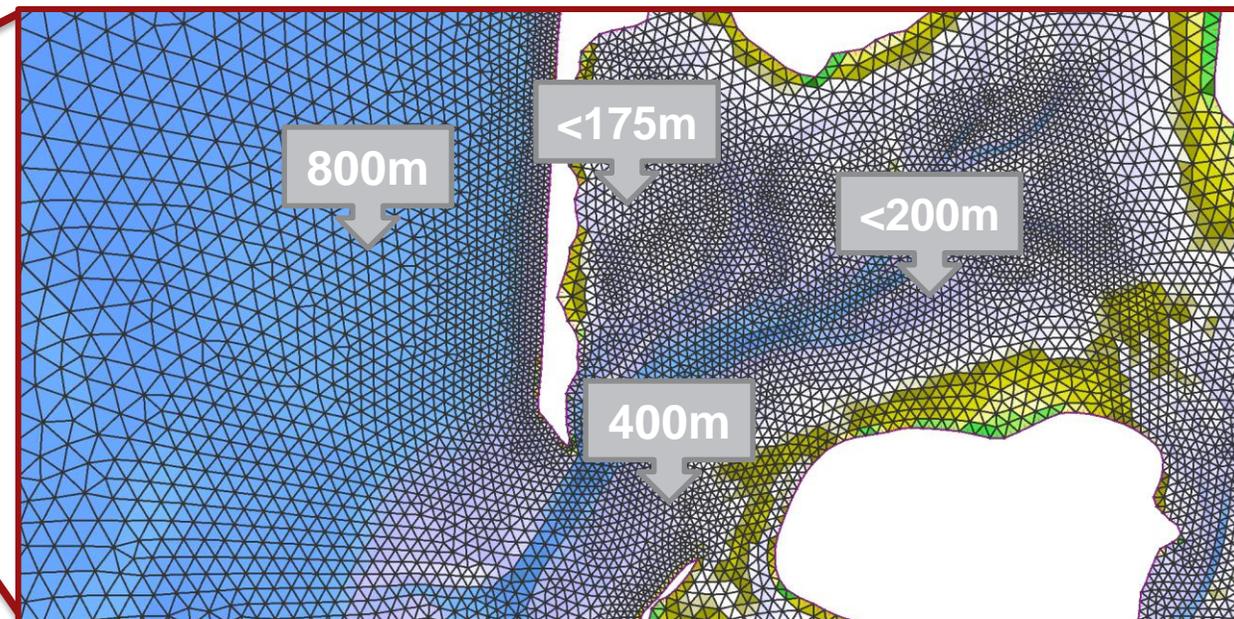
- Horizontal: 220.292 Elemente
- davon 190.000 im Fokusgebiet
- Fokus auf Seegaten und Küstennahfeld
- Spektrum mit 32 Frequenzen und 24 Richtungen

▪ Randbedingungen

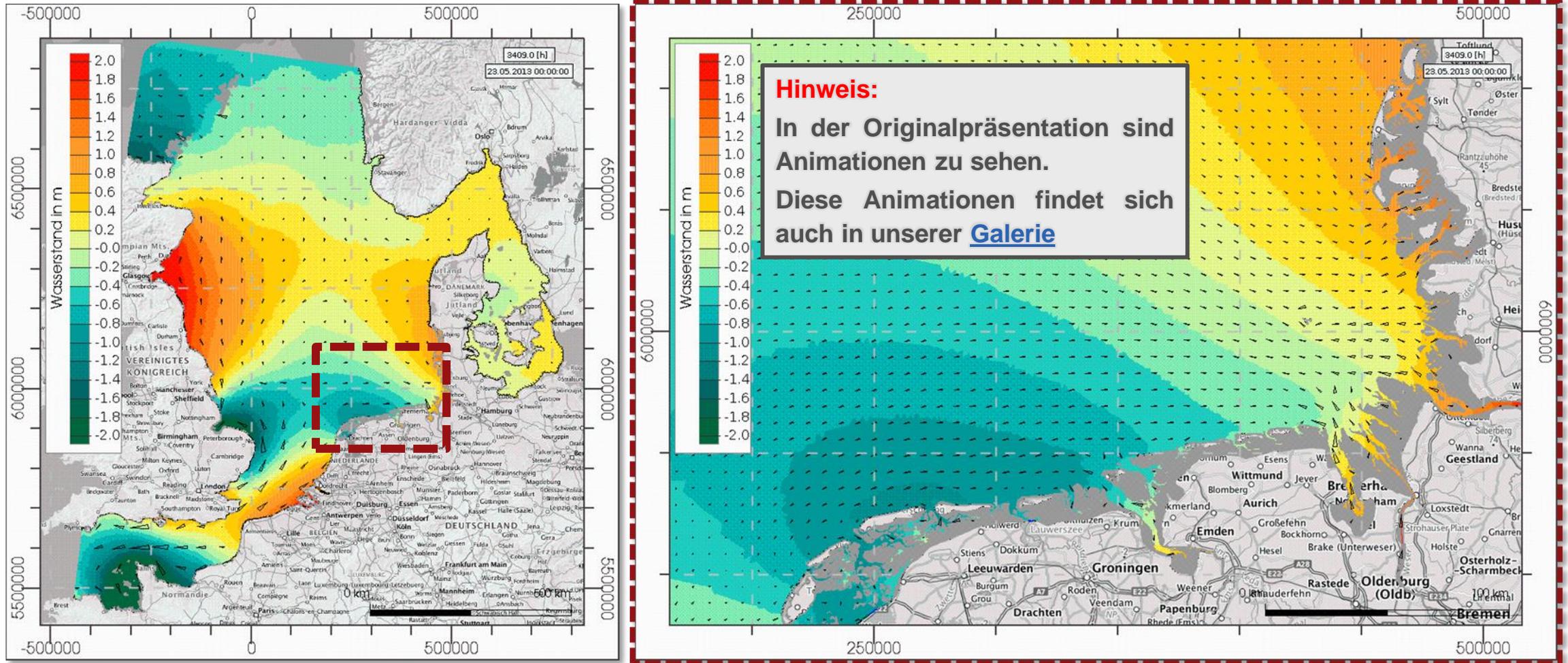
- Wasserstand und Strömung: UnTRIM2 (Subgrid)
- Randspektren (WESPE)

▪ Meteorologie

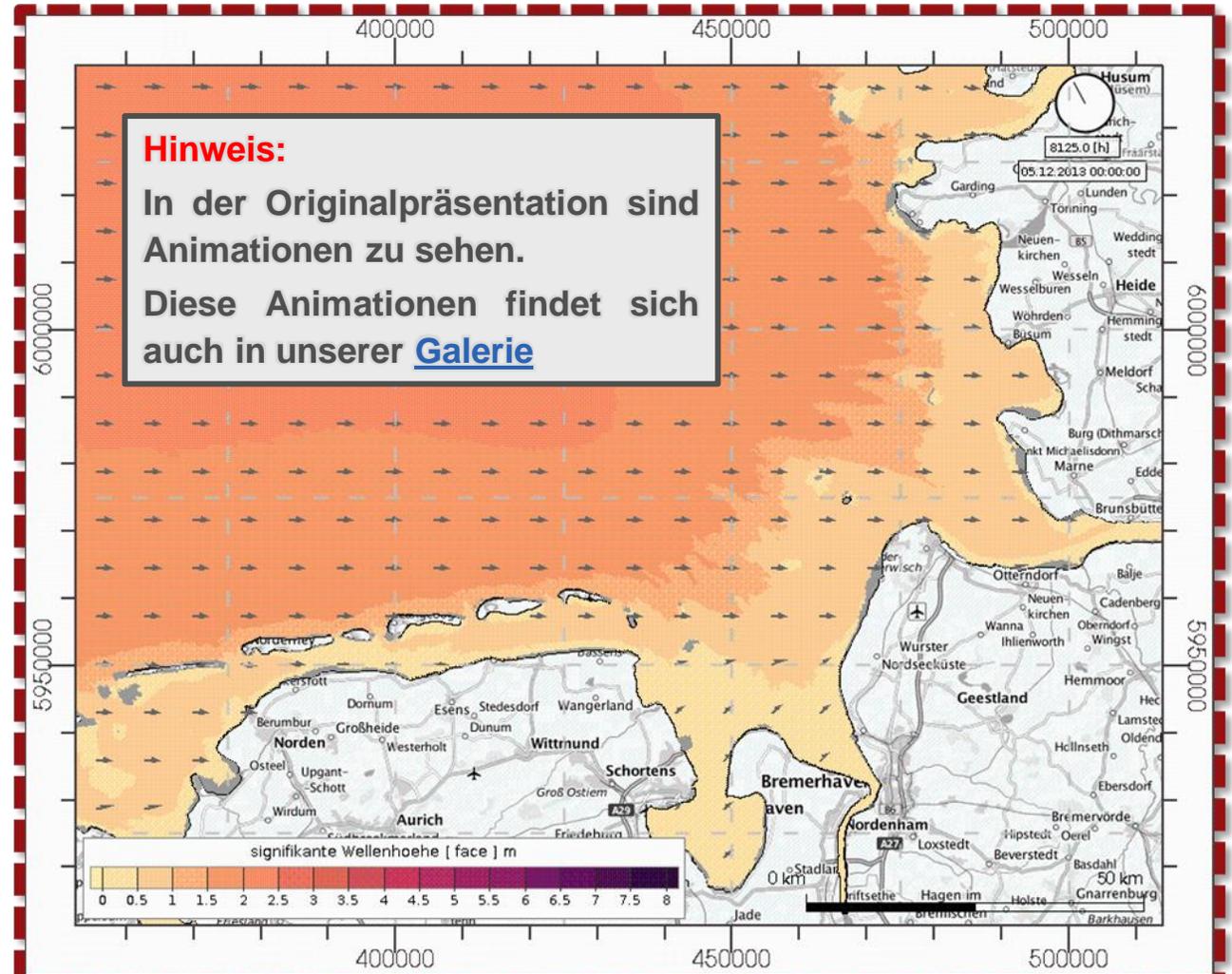
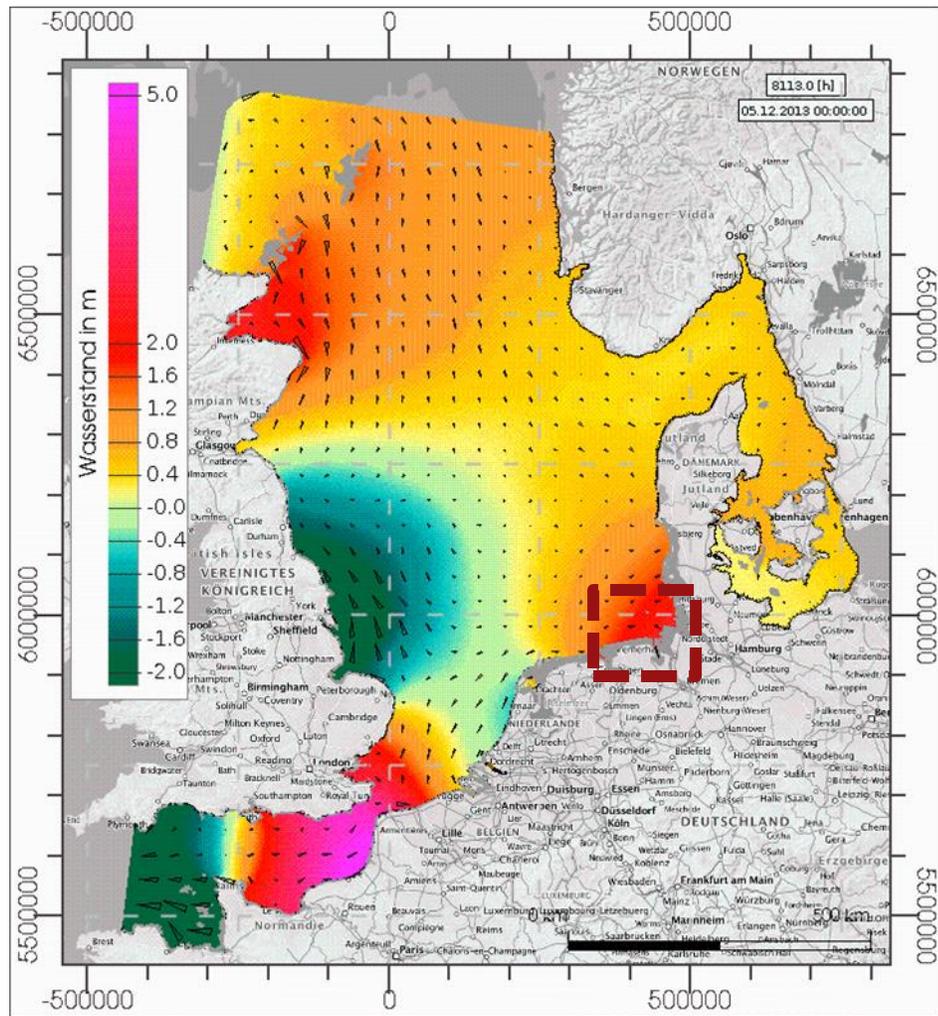
- COSMO-REA6 (Wind)



Tidedynamik in der Nordsee und der Deutschen Bucht (Mai 2013)



Wasserstand in m und Strömung in m/s in der Nordsee (links) und in der [Deutschen Bucht](#) (rechts) im Jahr 2013, Hintergrund aus TopWebPlus (Kartendienst des BKG www.bkg.de)



Wasserstand in m und Strömung in m/s in der Nordsee (links) und [signifikante Wellenhöhe](#) in m mit Windrichtung in m/s (rechts), Hintergrund aus TopWebPlus (Kartendienst des BKG www.bkg.de)

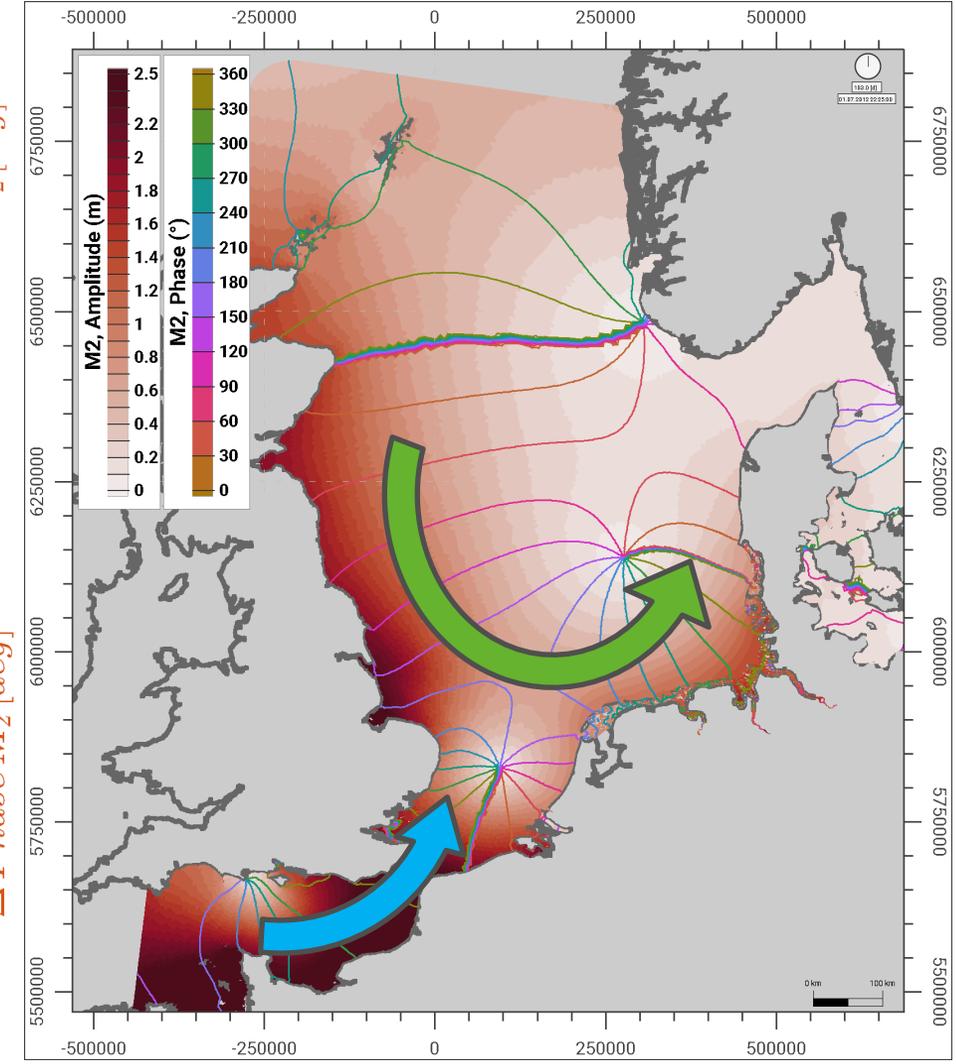
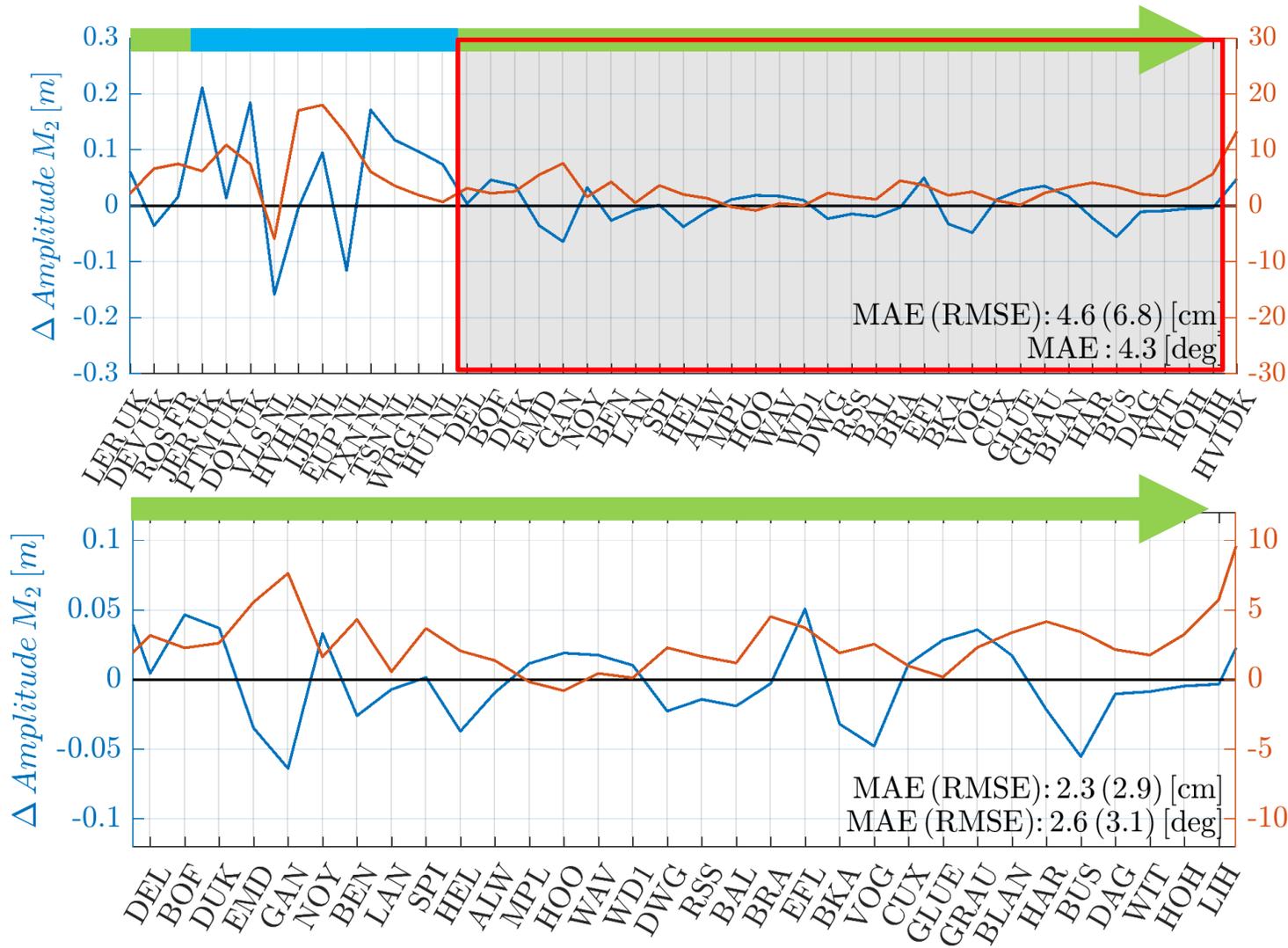
Modellvalidierung: Vorgehen

1. Sensitivitäts- und Plausibilitätsstudien
2. Validierung der Partialtiden (Fokus: M2) im Jahr 2006
3. Berechnung und Validierung der Fernwelle → Beliebiges Validierungsjahr
4. Validierung der Wasserstände (inkl. Seegangkopplung)
5. Validierung abgeleiteter Größen

Modellvalidierung: Vorgehen

1. Sensitivitäts- und Plausibilitätsstudien
- 2. Validierung der Partialtiden (Fokus: M2) im Jahr 2006**
3. Berechnung und Validierung der Fernwelle → Beliebiges Validierungsjahr
4. Validierung der Wasserstände (inkl. Seegangskopplung)
5. Validierung abgeleiteter Größen

Differenzen aus der Partialtidenanalyse (M2), 2006



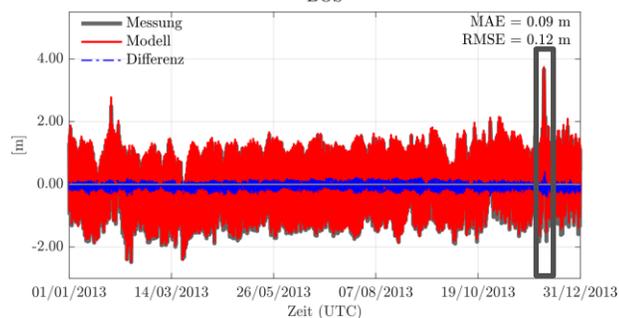
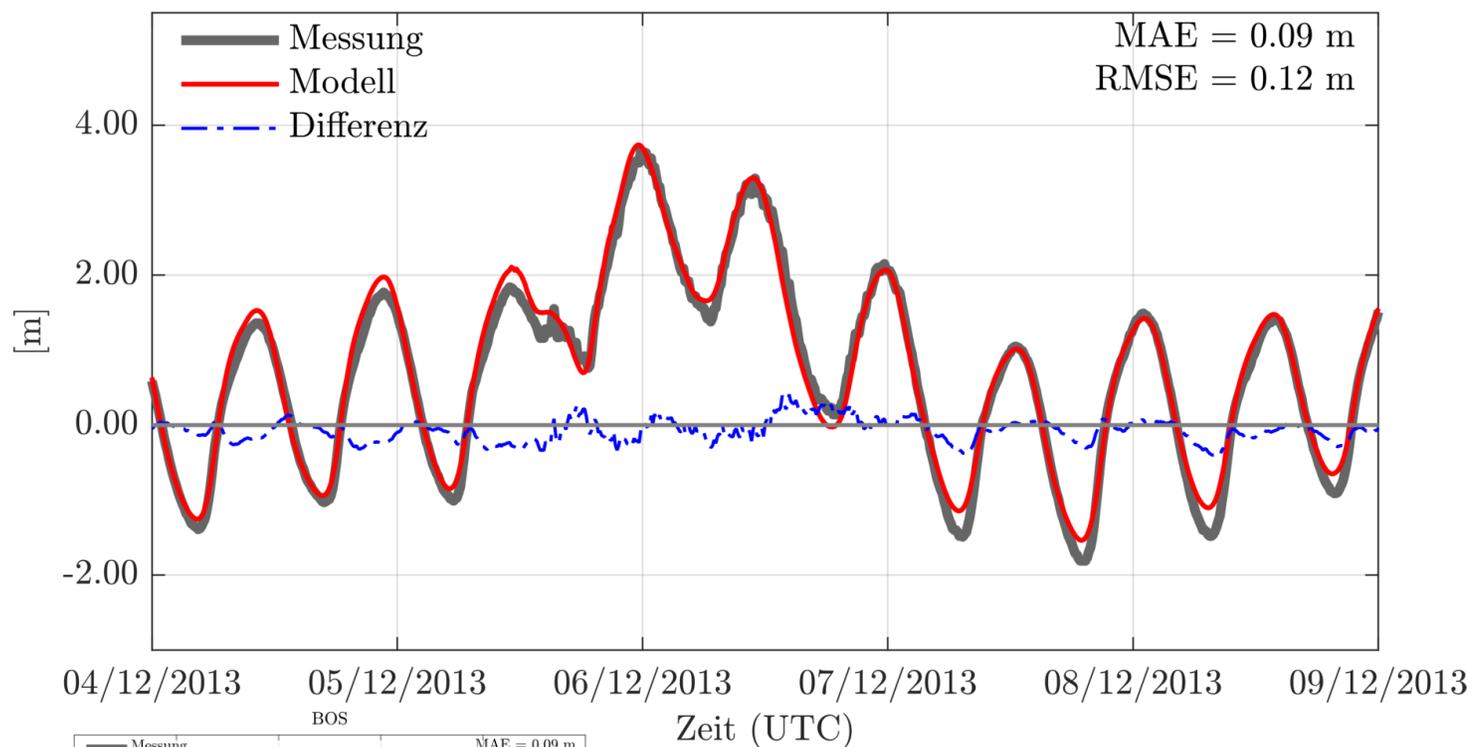
■ Verteilung der M2 im Jahr 2006 mit der Amplitude in rot und Phasenlinien

Modellvalidierung: Vorgehen

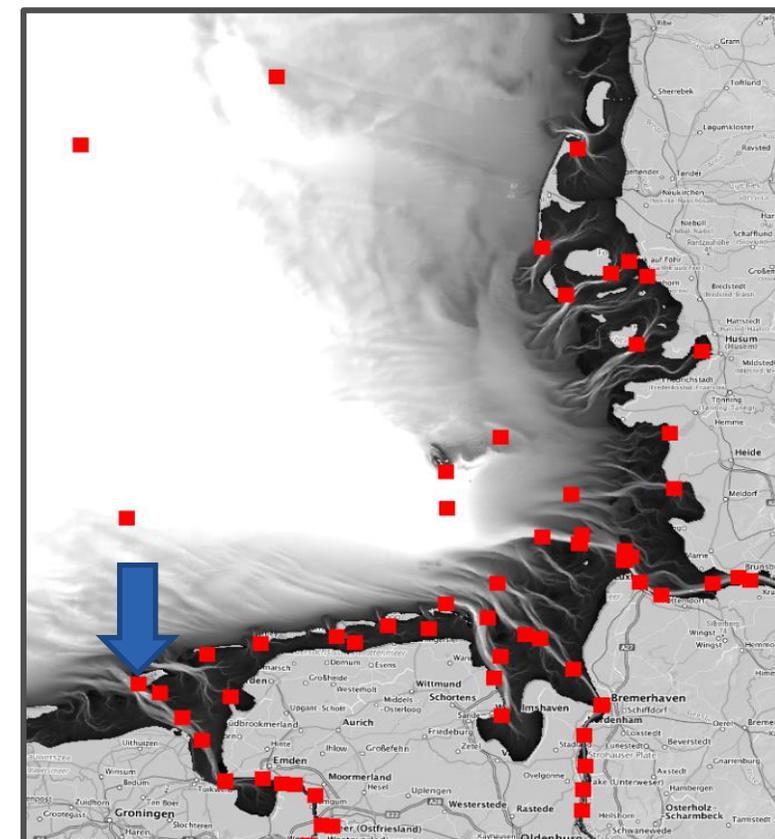
1. Sensitivitäts- und Plausibilitätsstudien
2. Validierung der Partialtiden (Fokus: M2) im Jahr 2006
3. Berechnung und Validierung der Fernwelle → Beliebiges Validierungsjahr
4. **Validierung der Wasserstände (inkl. Seegangskopplung)**
5. Validierung abgeleiteter Größen

Wasserstand in Borkum Südstrand

BOS

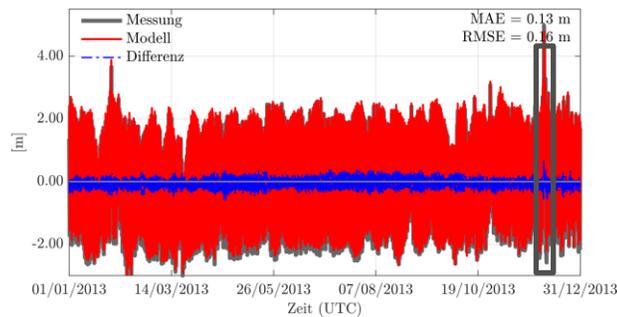
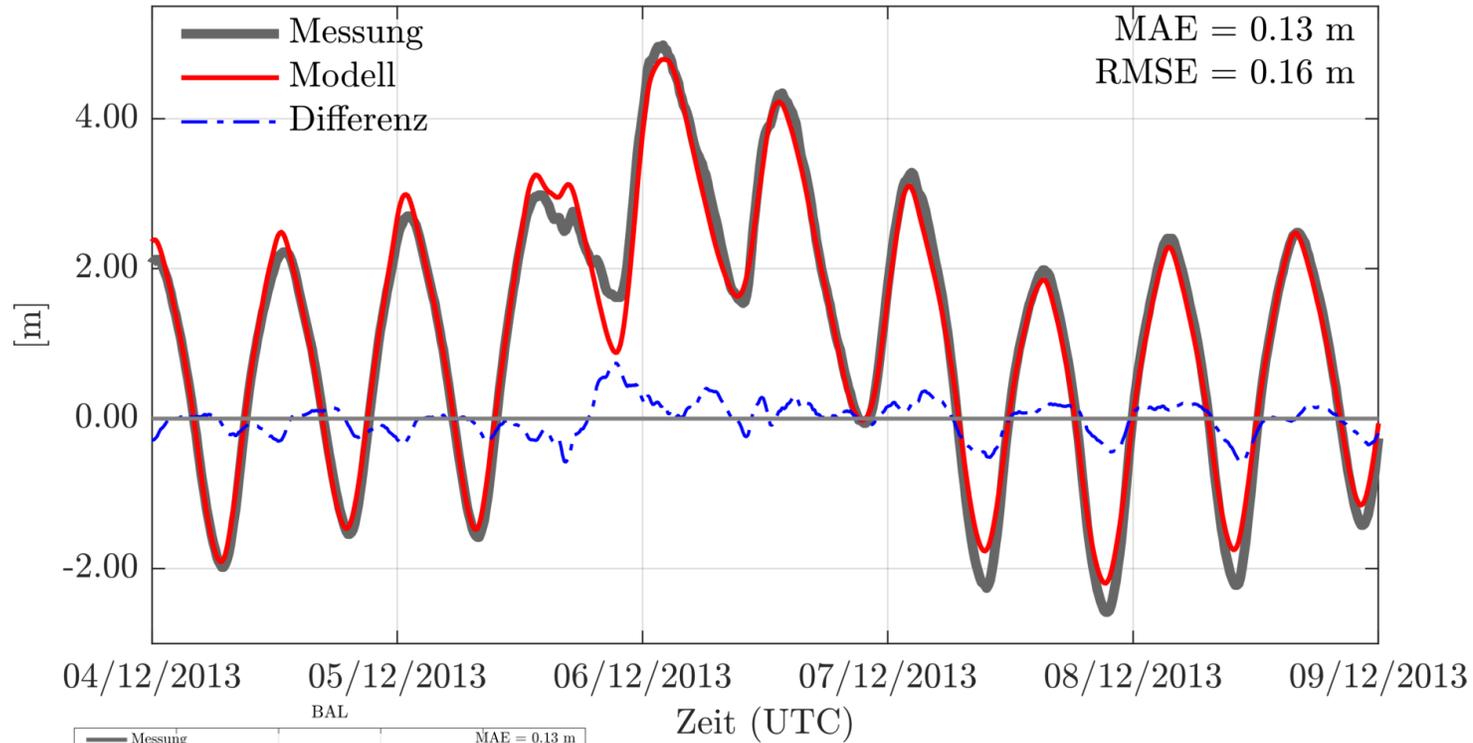


- **Pegel: Borkum Südstrand**
- **Emsästuar**
- **Sturmflut Xaver am 06. Dezember 2013**

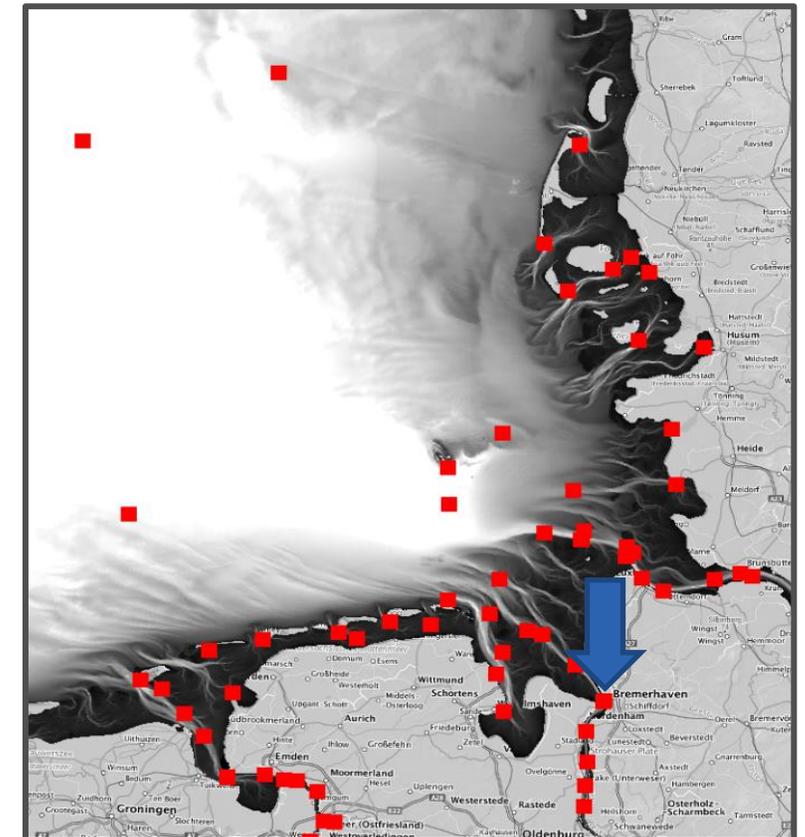


Wasserstand in Bremerhaven Alter Leuchtturm

BAL

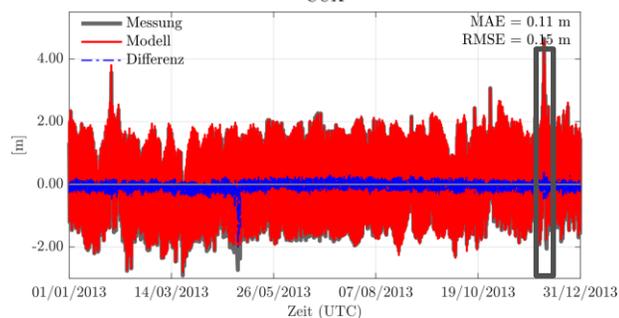
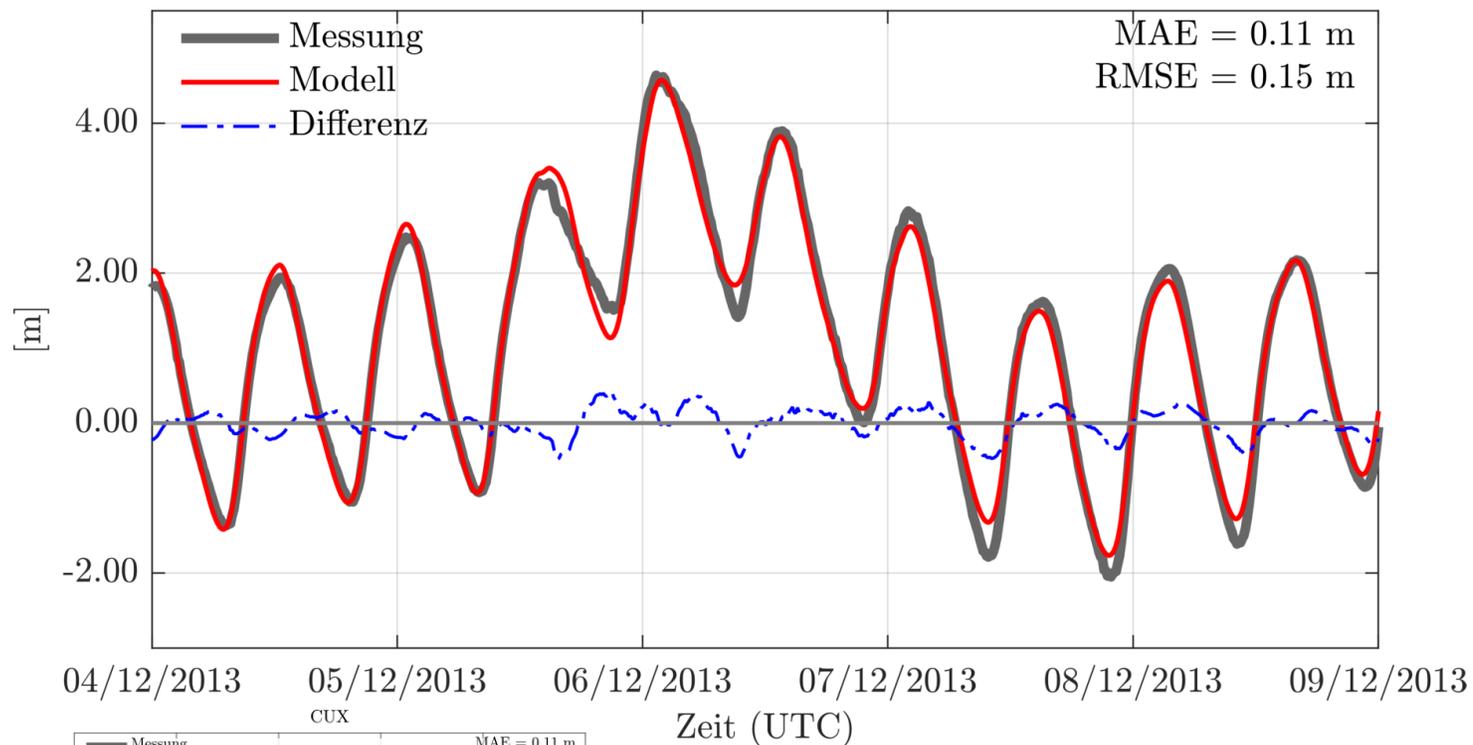


- Pegel: Bremerhaven Alter Leucht.
- Weserästuar
- Sturmflut Xaver am 06. Dezember 2013

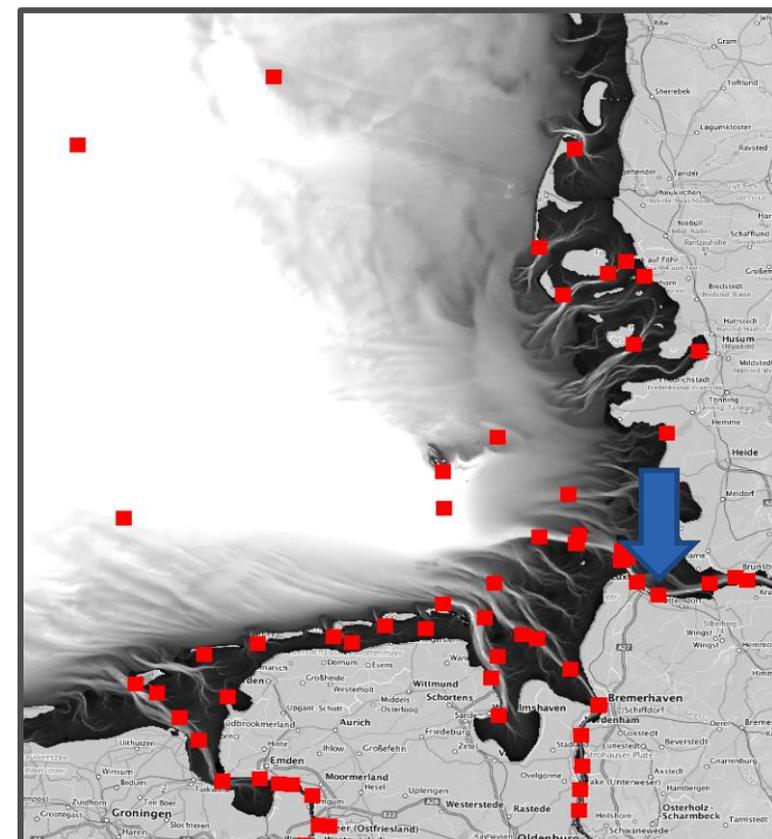


Wasserstand in Cuxhaven Steubenhöft

CUX

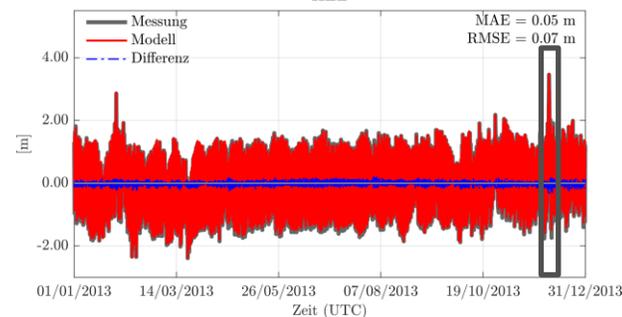
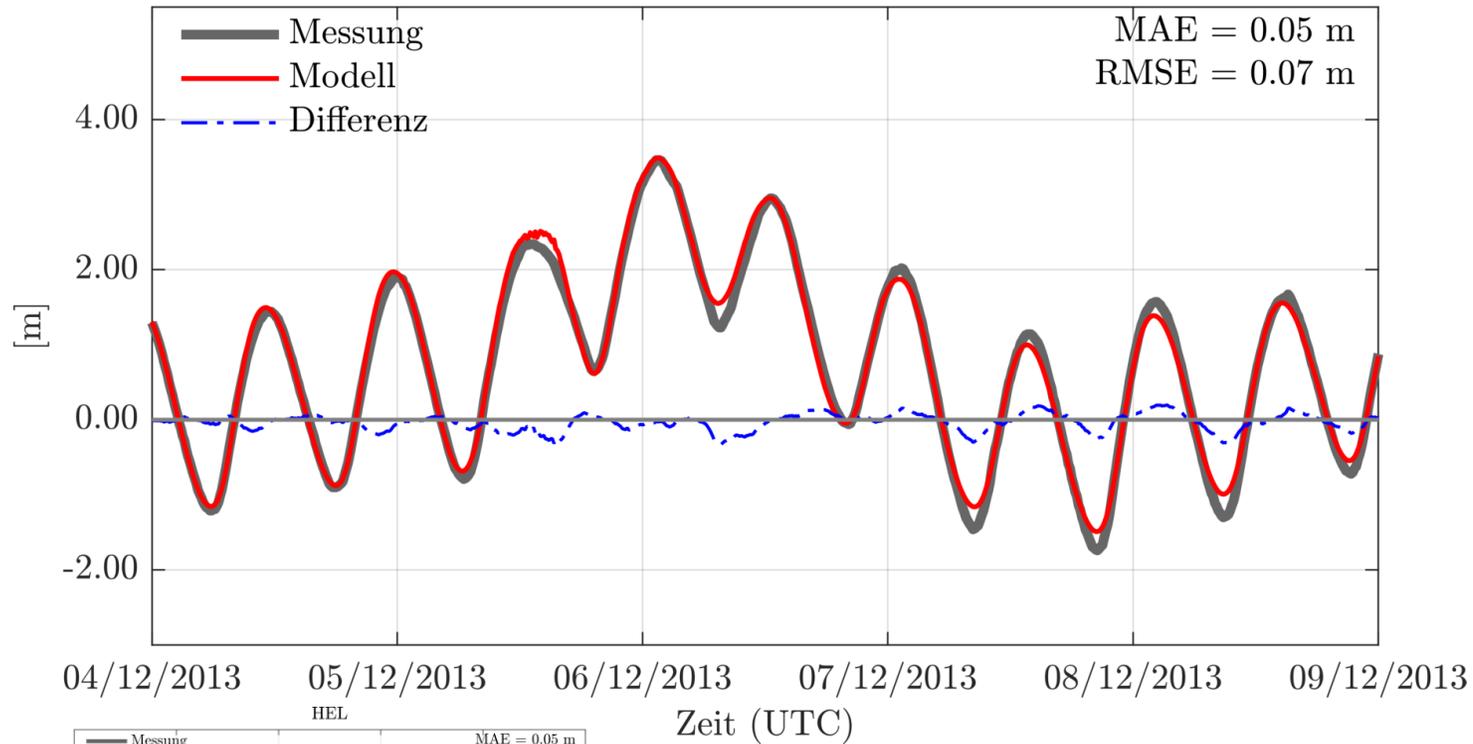


- Pegel: Cuxhaven Steubenhöft
- Elbeästuar
- Sturmflut Xaver am 06. Dezember 2013

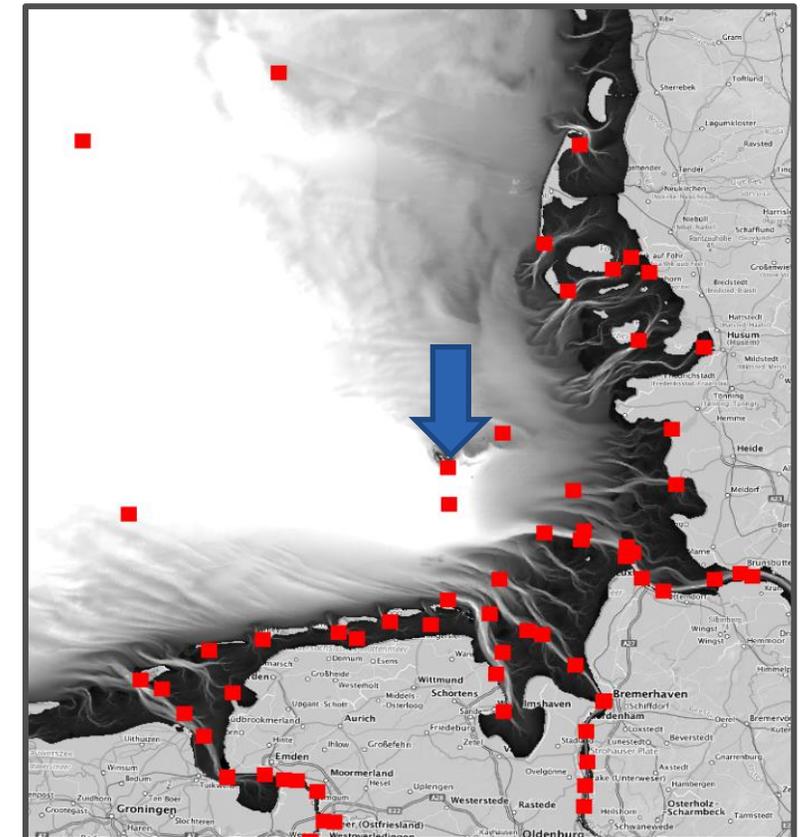


Wasserstand in Helgoland Binnenhafen

HEL

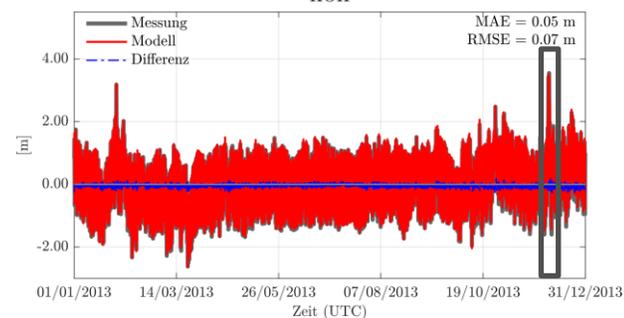
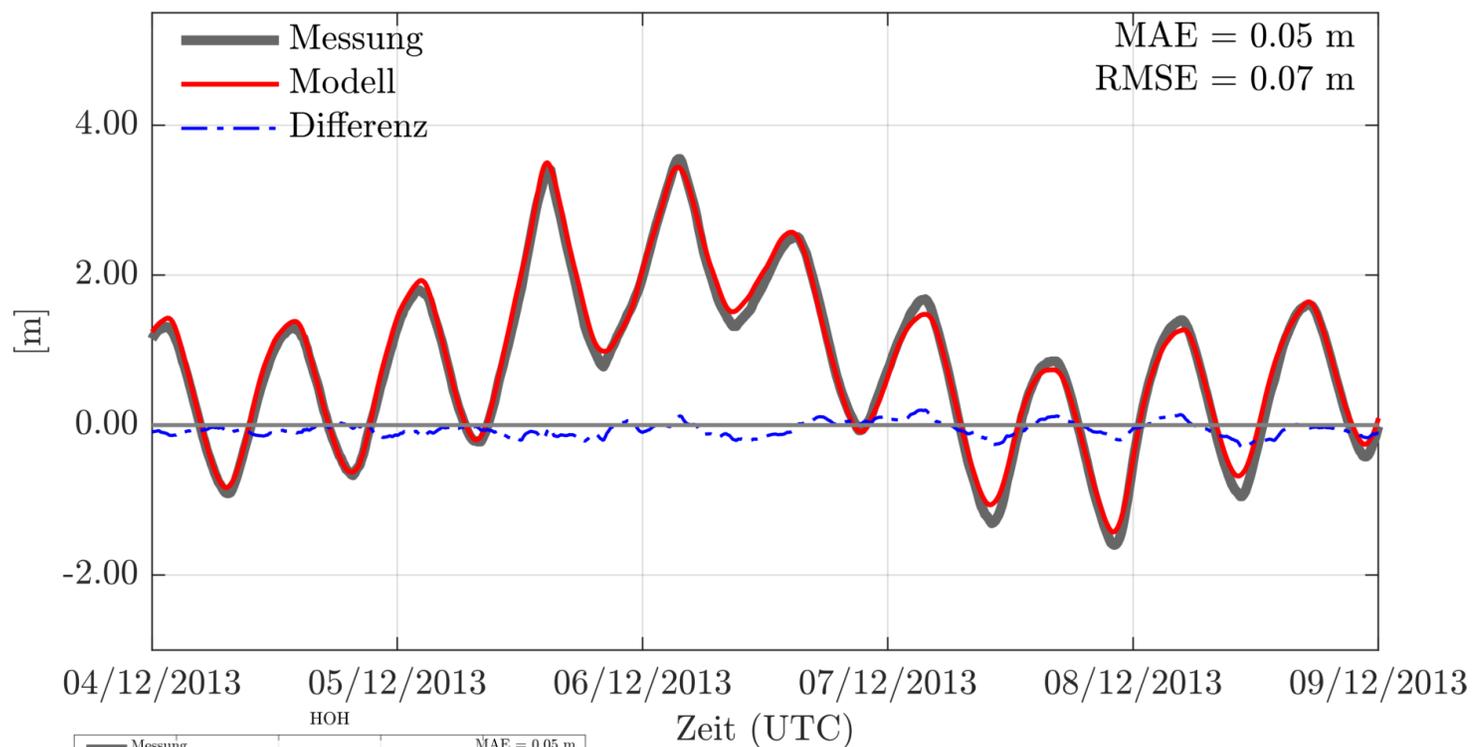


- Pegel: Helgoland Binnenhafen
- Deutsche Bucht
- Sturmflut Xaver am 06. Dezember 2013

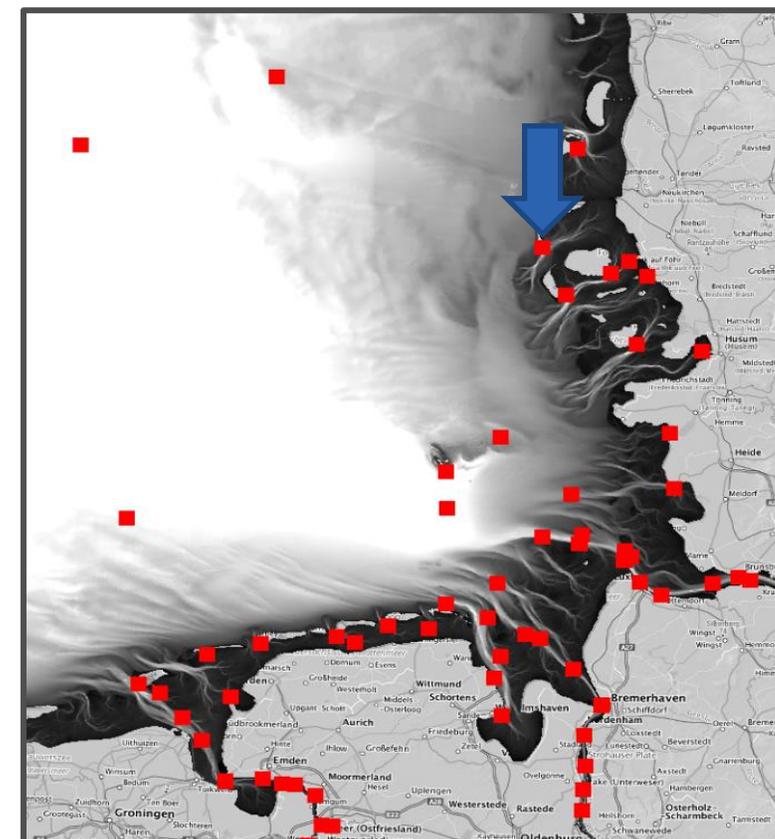


Wasserstand in Hörnum Hafen

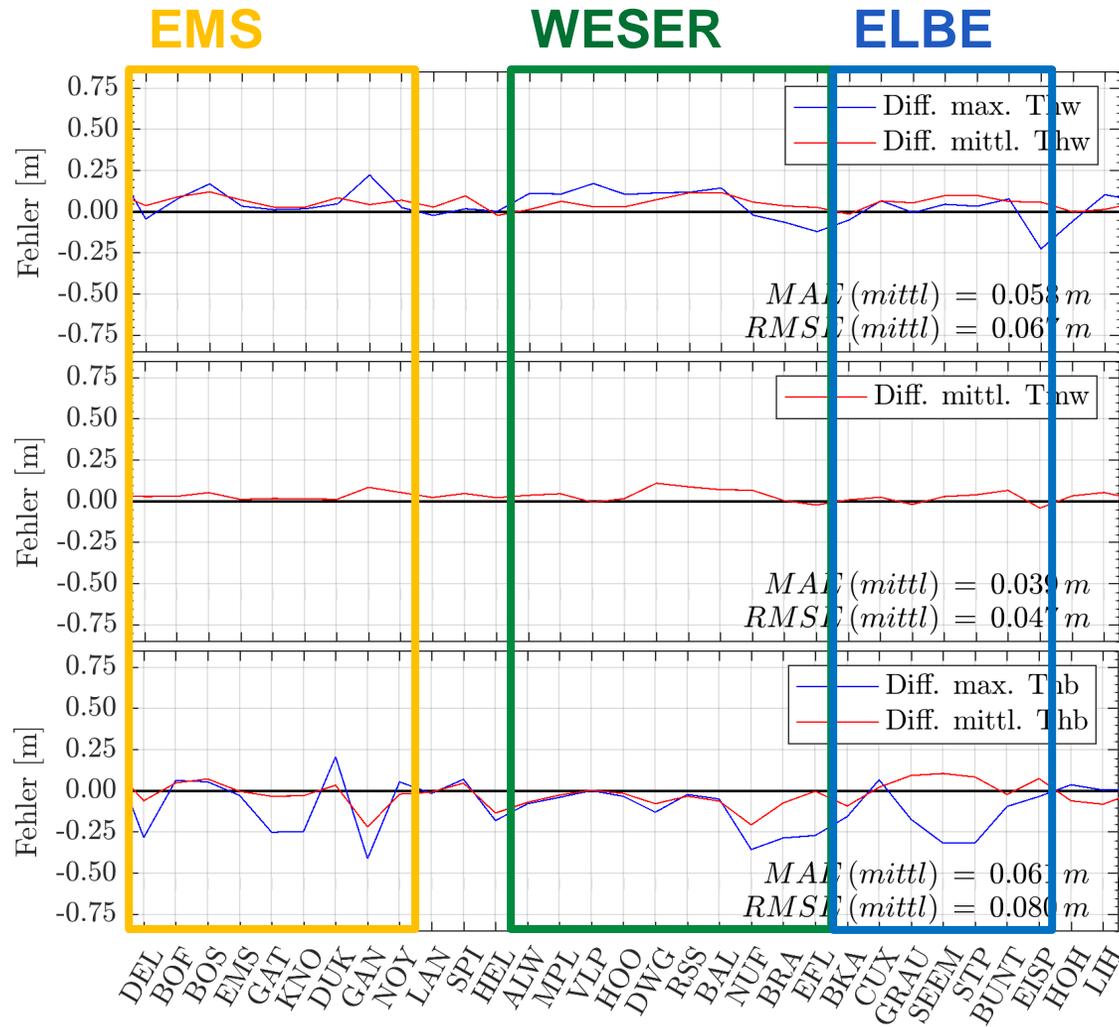
HOH



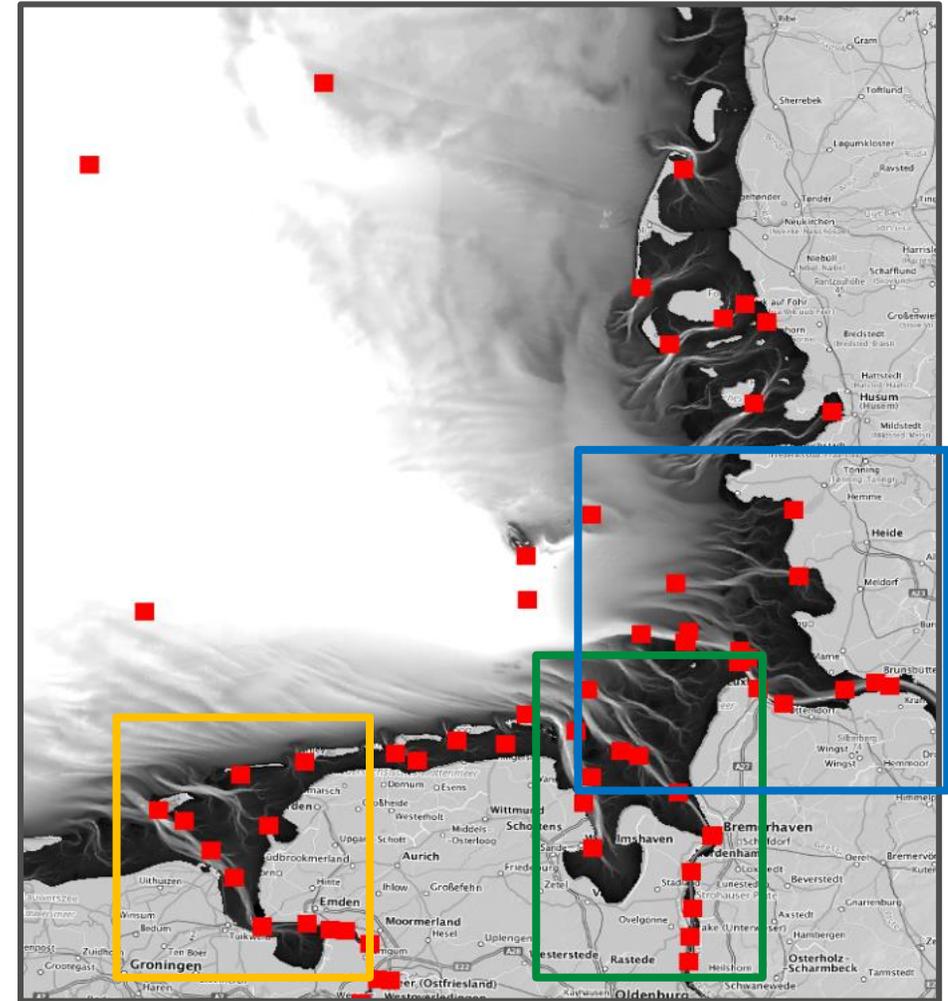
- **Pegel: Hörnum Hafen**
- Nordfriesland, Sylt
- Sturmflut Xaver am 06. Dezember 2013



Validierung der Tidekennwerte des Wasserstands, 2010



THW
TMW
THB



Datenprodukte

Teil 2: Hydrodynamik

Easy GSH-DB Abschlussveranstaltung

Hamburg, 17. März 2020

Gliederung Teil TUHH

1. Erweiterte Modellvalidierung zur Qualitätssicherung

- Überblick Multimodellansatz
- Validierung Einzelmodelle
- Multimodellvalidierung Wasserstände
- Multimodellvalidierung Seegang

2. Seegang – Stationsbezogene Produkte

3. Zusammenfassung

Erläuterungen Multimodellansatz

Ein wesentlicher Aspekt zur Sicherung Qualität der Simulationsergebnisse ist neben einer ausführlichen Validierung anhand von Messwerten (Vergleich von Simulationsergebnissen mit Messwerten) eine Multimodellvalidierung (Vergleich von Ergebnissen unterschiedlicher Modelle) im Rahmen eines Multimodellansatzes (MM).

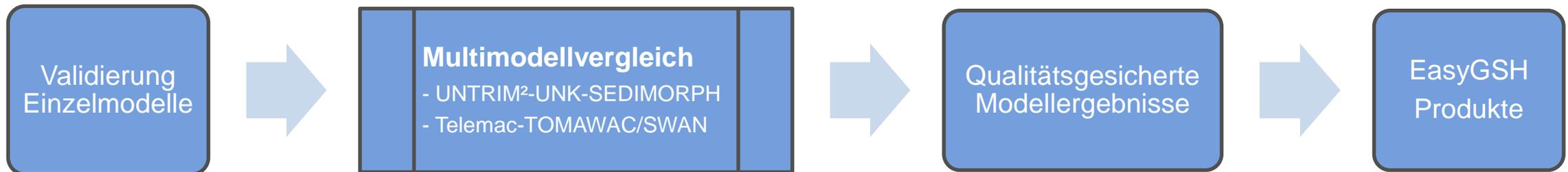
Im Rahmen des MM von EasyGSH werden zwei bzw. drei unterschiedliche HN-Modelle eingesetzt, die zwar auf unterschiedlichen Ansätzen (z.B. mathemat. Lösungsverfahren, Parametrisierungen) basieren, aber über ein vergleichbares Modell Set-up (Modellkonzept, Modellaufbau und Modellkonfiguration) verfügen. Beim Modellaufbau wurden z.B. dieselben Eingangsdaten (Bathymetrie, Forcing) verwendet. Die räumliche und zeitliche Diskretisierung der einzelnen Modelle erfolgte unter Berücksichtigung der den Modellen zugrunde liegenden Lösungsverfahren mit der Maßgabe vom Detaillierungsgrad her vergleichbare Modellergebnisse zu erzielen.

Im Rahmen von EasyGSH-DB kamen die UNTRIM²-UNK-SEDIMORPH-Modellfamilie, die TELEMAC-Modellfamilie und das Seegangmodell SWAN zum Einsatz. Die Einzelmodelle wurden zunächst ausführlich anhand von Messdaten validiert. Anschließend folgte der Vergleich der unterschiedlichen Modellergebnisse. Der MM ist besonders dort von Vorteil, wo keine Messdaten vorliegen. Indem Simulationsergebnisse an unbeobachteten Orten von mehreren Modellen vorliegen, kann durch Abweichung der Modellergebnisse untereinander eine Einschätzung einer möglichen Spannbreite erfolgen. Grundvoraussetzung dafür ist die Einschätzung der Simulationsergebnisse in beobachteten Bereichen, d. h. eine ausführliche Validierung von Simulationsergebnissen anhand von Messwerten.

Im Folgenden werden daher:

- die Grundlagen der TELEMAC- und SWAN-Modelle erläutert,
- ein Einblick in die Validierung der Modelle gegeben und
- ein Ausblick auf den Vergleich der 3 Modelle/Modellfamilien untereinander geliefert werden.

- Motivation
 - Erhöhung der Verlässlichkeit der Ergebnisse (Vermeiden von Bias, Ungenauigkeiten, ...)
 - Erhöhung der Robustheit der Schlussfolgerungen, die auf Grundlage der Ergebnisse und der daraus generierten Produkte getroffen werden
- Umsetzung des MM-Ansatzes in EasyGSH



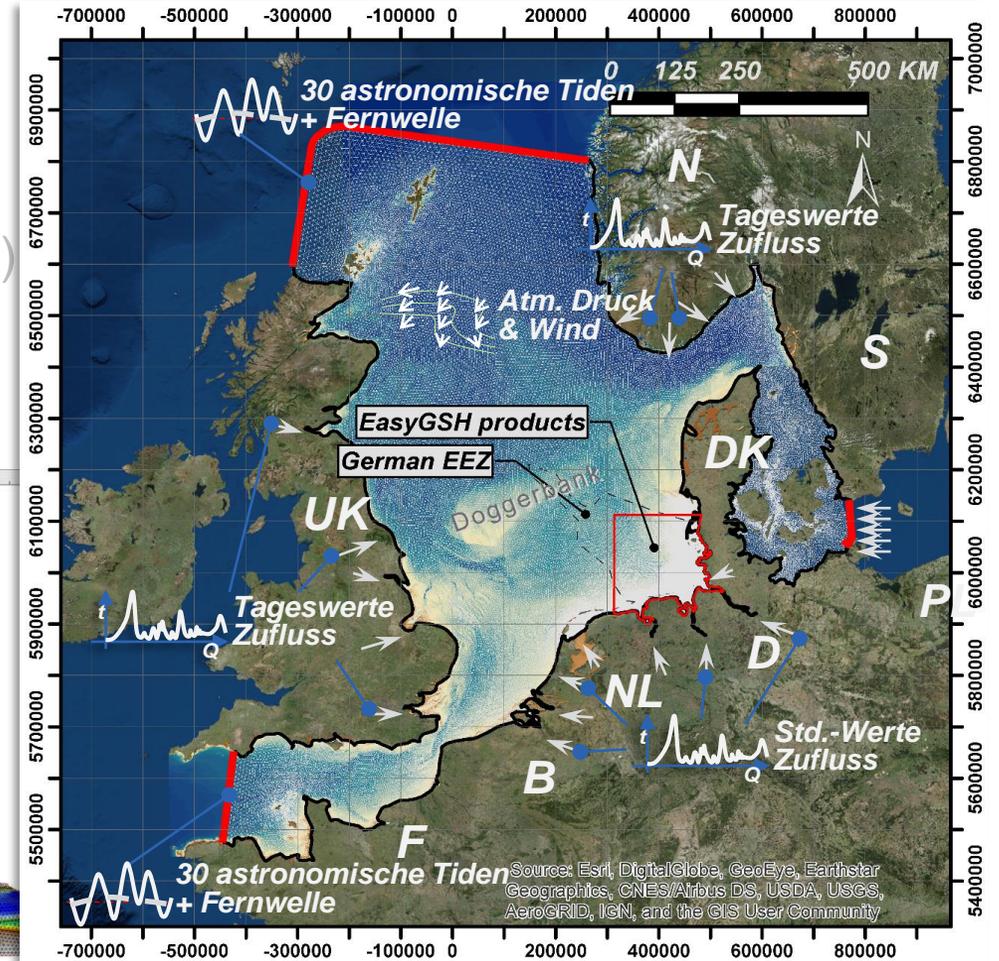
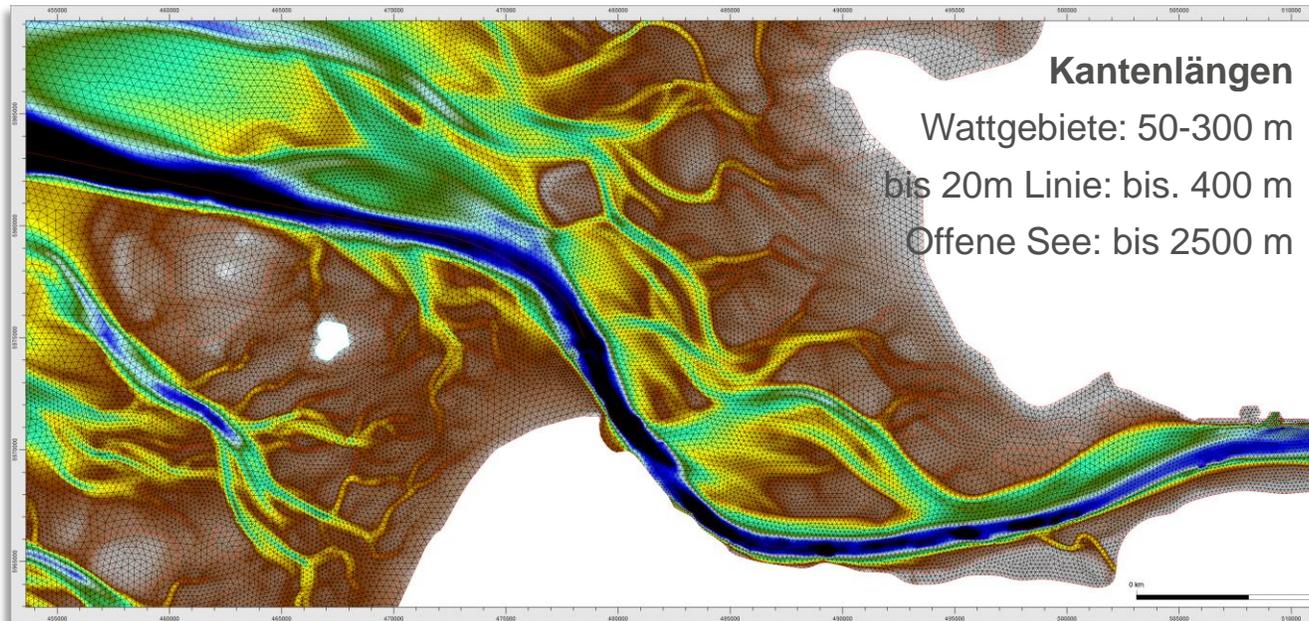
Erläuterungen Modelle im Multimodellansatz

Die Berechnungsnetze für die TELEMAC-Modelle und das SWAN-Modell sind identisch. Die Kantenlängen variieren je nach Strukturierung der darunter liegenden Bathymetrie und der Geometrie der Umgebung. Die Auflösung wurde gegenüber der Auflösung des UNTRIM²-Modells um den Faktor 2-3 hinsichtlich der Kantenlängen erhöht, da die Technologie von UNTRIM² wg. des zugrunde liegenden Subgrid-Ansatzes eine deutlich bessere Approximation der Bathymetrie erlaubt.

Für jedes simulierte Jahr wurde die entsprechende Jahresbathymetrie, die auch als Produkte in EasyGSH-DB bereit gestellt werden, als Grundlage für die Knotenhöhen genommen. Die Wasserstände an den offenen Rändern zum Atlantischen Ozean werden als Kombination aus astronomischer Tide und der Fernwelle aus dem Atlantik eingesteuert. Weiterhin werden die Modelle durch räumlich-zeitliche variable Windschubspannungen und den atmosphärischen Druck angetrieben. Die Oberwasserränder wurden mit Frischwasserzuflüssen belegt, wobei bei den deutschen Ästuaren stündlich gemessene und bei den anderen Zuflüssen charakteristische Tagesmittelwerte verwendet wurden.

Modelle im Multimodellansatz

- Hydrodynamik: Telemac (UNTRIM² s. Teil BAW)
- Seegang: Tomawac & SWAN (UNK s. Teil BAW)
- identische Netze mit Jahresbathymetrien



Erläuterungen Validierung Hydrodynamik Einzelmodelle

Die folgenden Folien zeigen drei ausgewählte Vergleiche der TELEMAC-Simulationsergebnissen gegenüber den Messwerten. Das TELEMAC-Modell wurde gekoppelt mit dem Seegangmodell TOMAWAC berechnet, um den Einfluss des Seegangs auf die Strömung bzw. den Einfluss der Strömung auf den Seegang zu berücksichtigen. Umfassende Informationen zur Validierung über den gesamten Zeitraum von 20 Jahren und zu verschiedenen Aspekten werden in einem separaten Validierungsdokument zur Verfügung gestellt.

Die Vergleiche zeigen eine grafische Gegenüberstellung des zeitlichen Verlaufes des Wasserstandes an den Messstationen Borkum Südstrand, Helgoland und Hörnum Hafen. Die dargestellten Zeiträume sind zum einen das gesamte Jahr 2013 sowie zum anderen der Ausschnitt zur Sturmflut Xaver Anfang Dezember 2013.

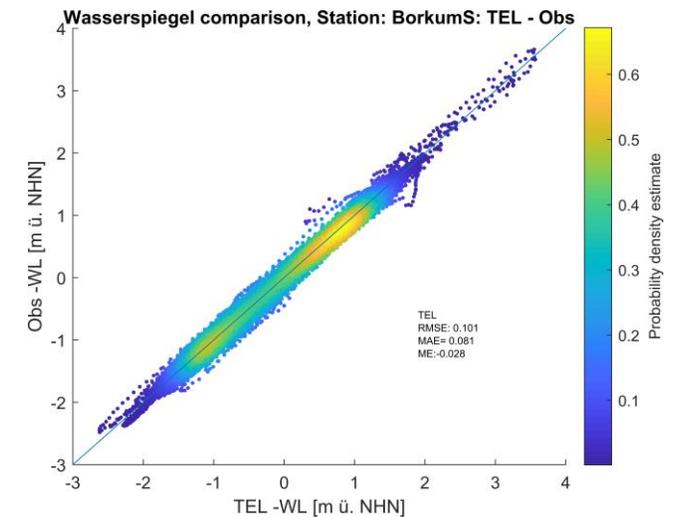
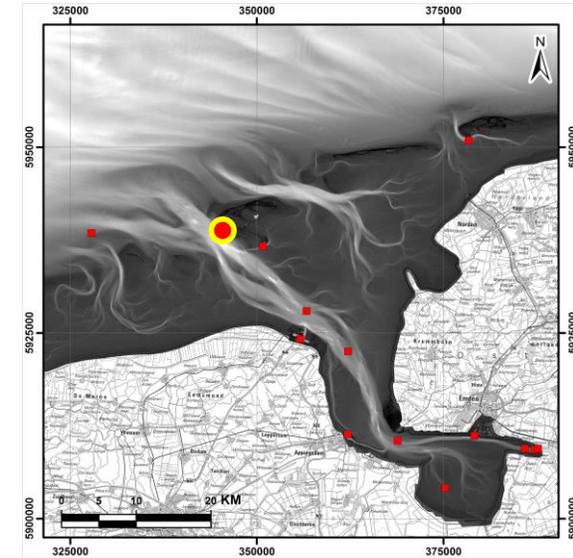
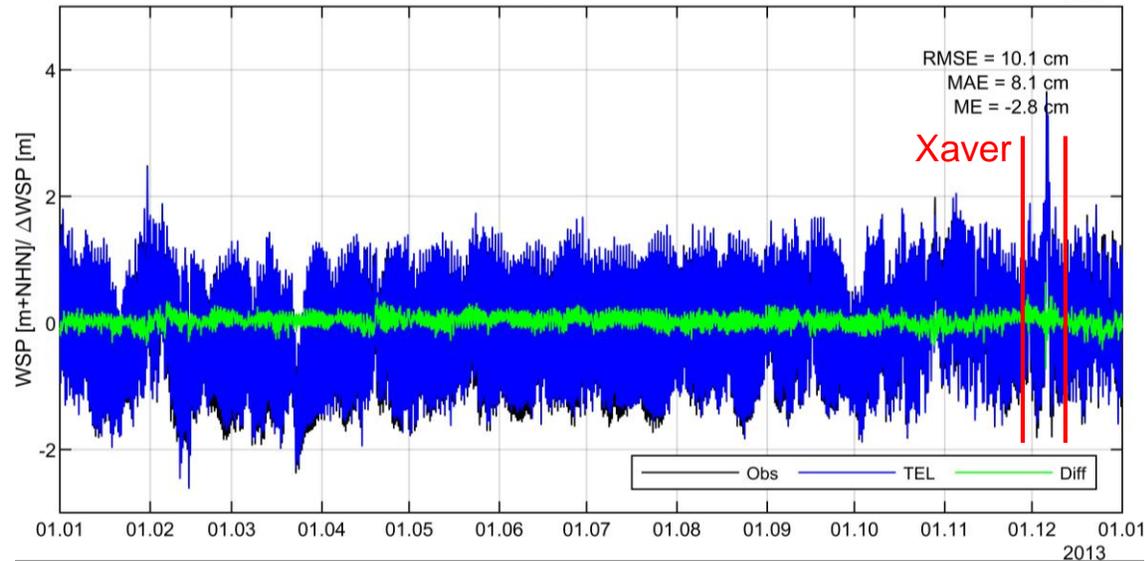
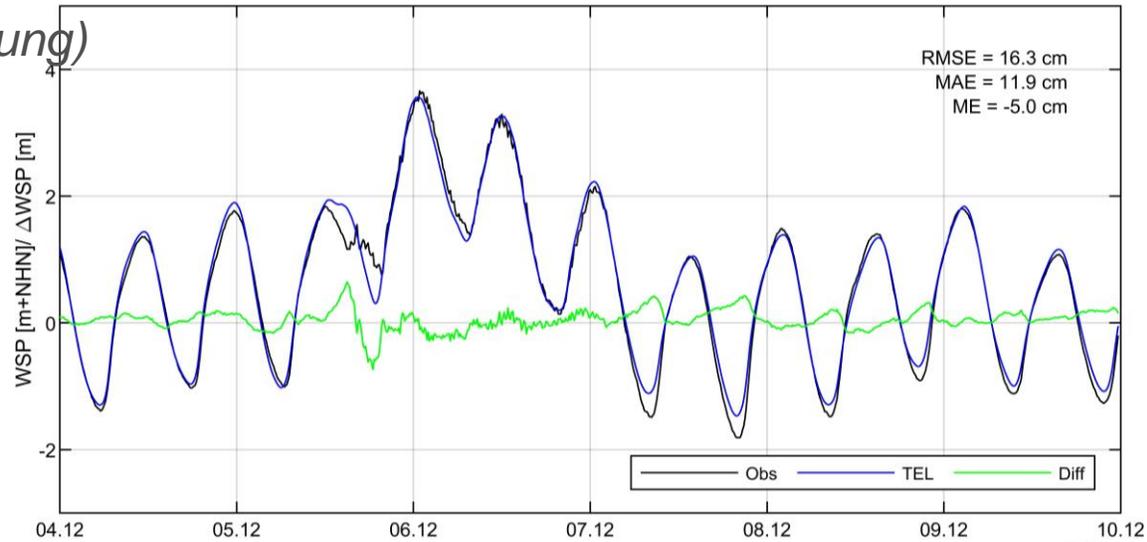
Der mittlere absolute Fehler für das gesamte Jahr liegt positionsvariierend in der Größenordnung von 1 dm, während sich die mittlere Abweichung in der Größenordnung weniger Zentimeter bewegt. In den etwas größeren mittleren quadratischen Fehlern, die über das ganze Jahr gesehen bei um ca. 1,5 dm schwanken spiegeln sich die absolut etwas größeren Abweichungen der Simulationsergebnisse gegenüber Messwerten wider. Insgesamt sind die Abweichungen für den Ausschnitt der Sturmflut etwas größer.

Die Darstellungen verdeutlichen die grundsätzlich sehr gute Annäherung der Messwerte durch die Strömungssimulationen mit dem TELEMAC-Modell. Im Hinblick auf die Verwendung für MM-Vergleiche mit dem UNTRIM²-Modell ist damit eine robuste Basis gelegt.

Wasserstände

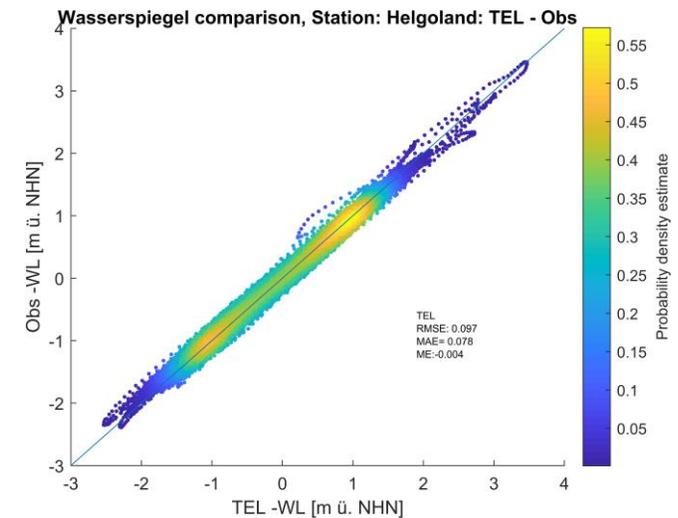
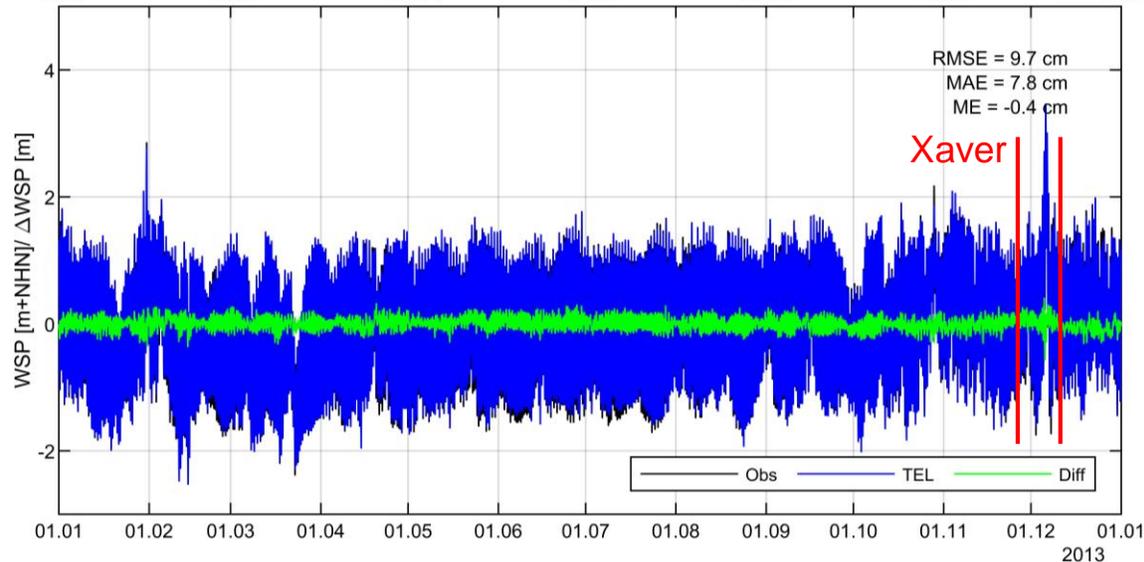
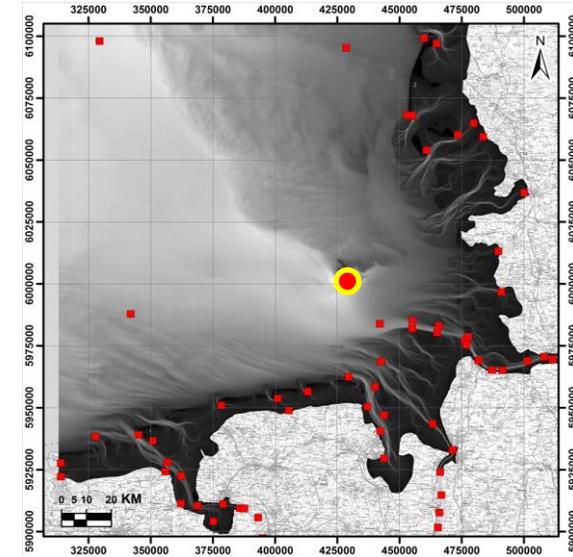
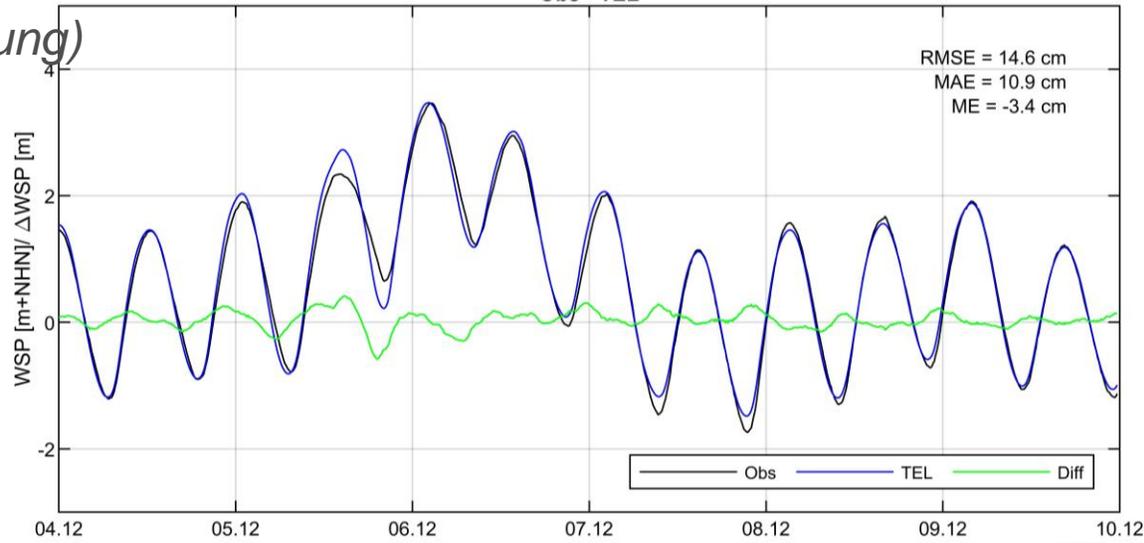
Borkum Südstrand (Ostfriesische Inseln); Dez.2013 (Xaver) und 2013 gesamt

(Obs: Messung)



Wasserstände Helgoland (Deutsche Bucht); Dez.2013 (Xaver) und 2013 gesamt

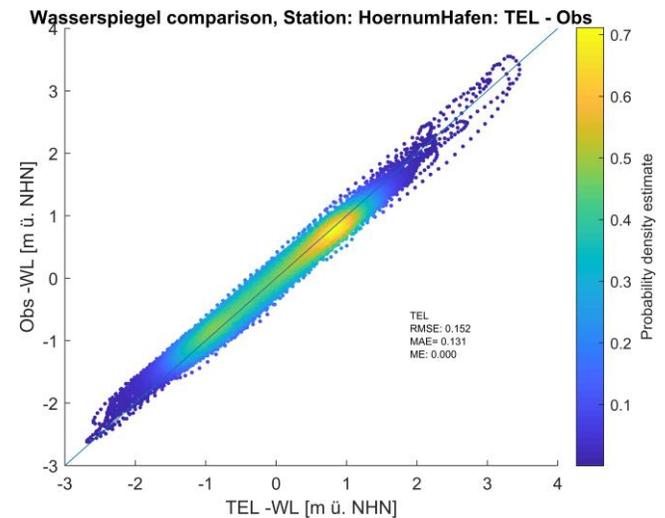
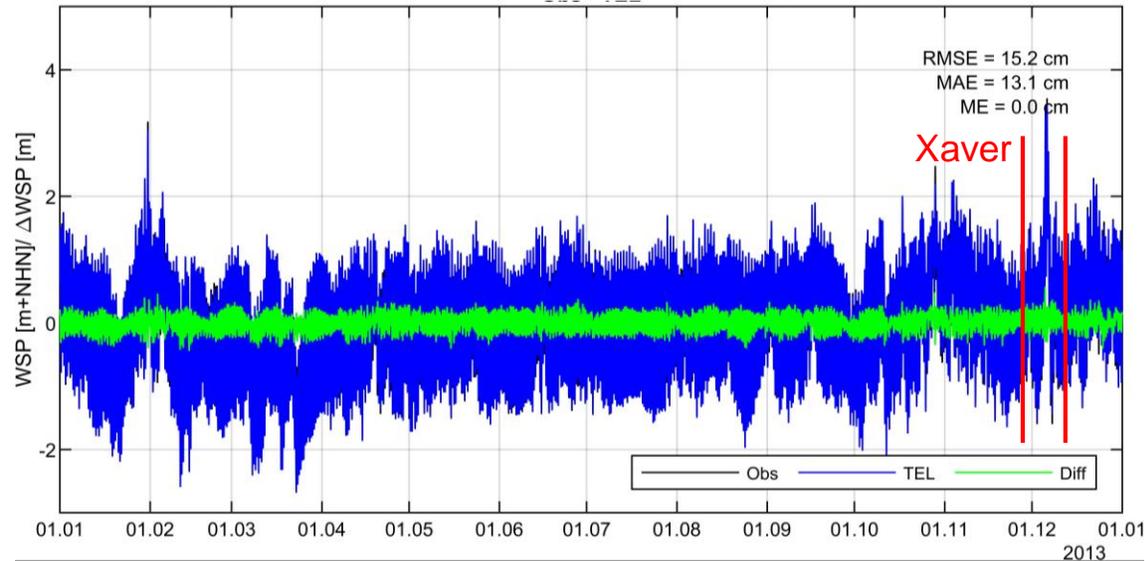
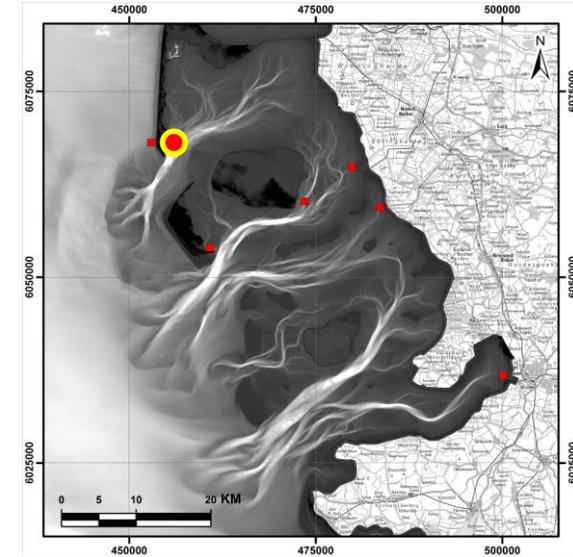
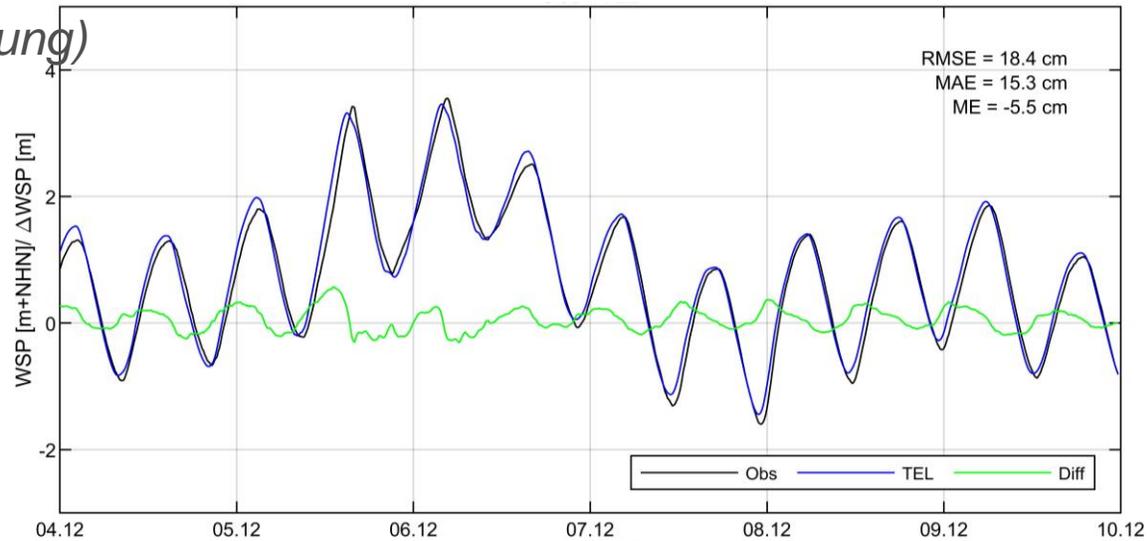
(Obs: Messung)



Wasserstände

Hörnum Hafen (Nordfriesische Inseln); Dez.2013 (Xaver) und 2013 gesamt

(Obs: Messung)



Erläuterungen Validierung Seegang Einzelmodelle

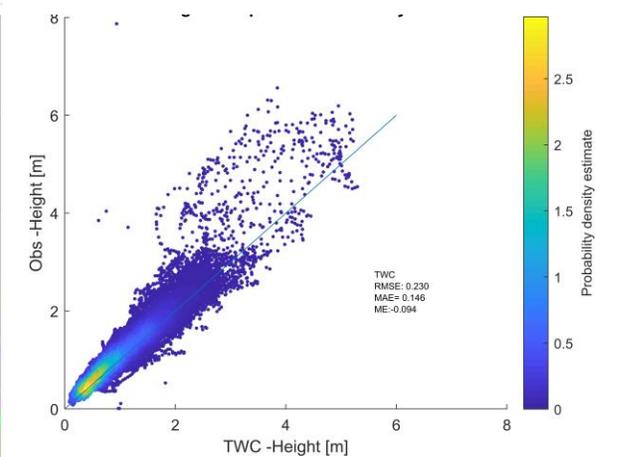
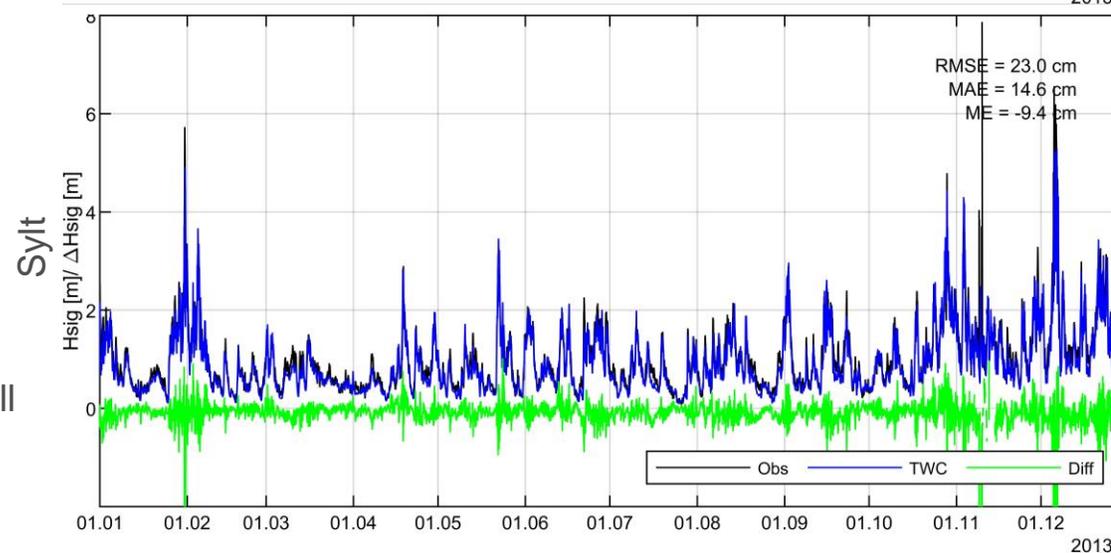
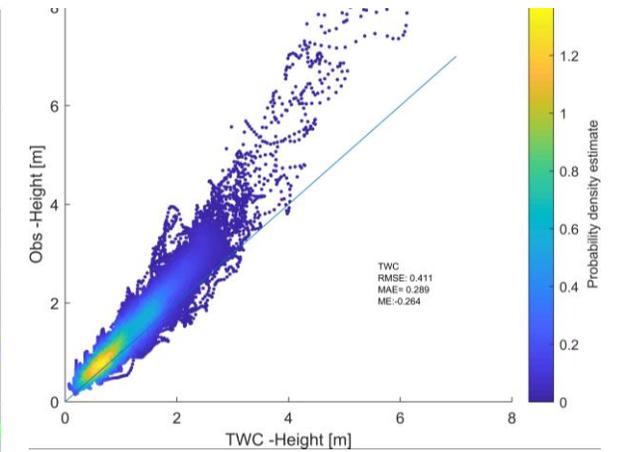
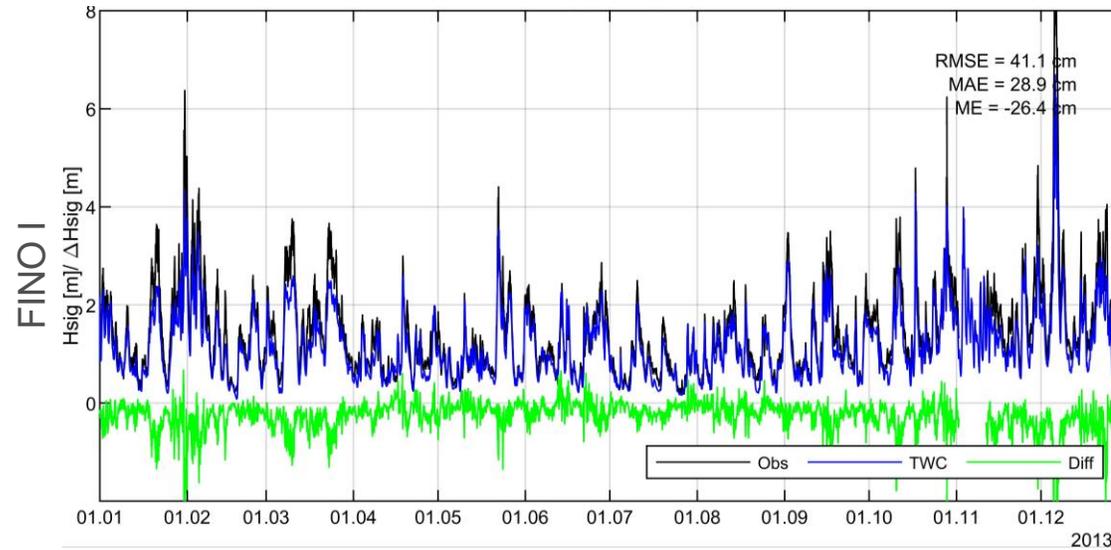
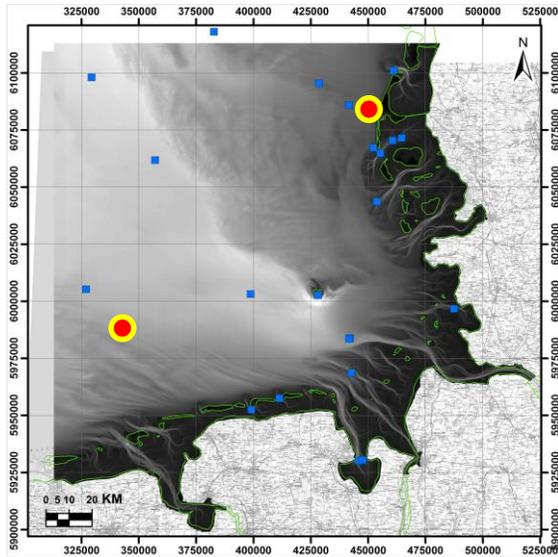
Die folgenden Folien zeigen je zwei ausgewählte Simulationsergebnisse von TOMAWAC und SWAN gegenüber Messwerten. Umfangreichere Validierungsinformationen werden in einem separaten Validierungsdokument zur Verfügung gestellt. Zu den Ausgangsbedingungen ist zu benennen, dass TOMAWAC mit TELEMAC online gekoppelt betrieben wurde, um die Wassertiefen und Strömungen im Seegangmodell und umgekehrt (siehe vorige Erläuterungsfolie) zu berücksichtigen. Das SWAN-Modell ist unter Berücksichtigung eines zeitlich und räumlich konstanten mittleren Wasserstands (NHN +0 m) und ohne Berücksichtigung der Strömung betrieben worden. Zudem ist zu beachten, dass die SWAN-Ergebnisse mit einem stündlichen Intervall berechnet wurden. Im 6-fach größeren Intervall im Gegensatz zu TELEMAC bzw. TOMAWAC hat dies deutlich geringere Schwankungen der Messwerte zur Folge, was auch Konsequenzen z.B. für die Streuung der Simulationsergebnisse gegenüber den Messergebnissen hat. Aufgrund des vernachlässigten zeitlich und räumlich variablen Wasserstands sind die SWAN-Ergebnisse nur für den Tiefwasserbereich gültig. Zum Vergleich ist jeweils der zeitliche Verlauf der signifikanten Wellenhöhe an der Station FINO I für beide Modelle sowie an der Station Sylt für TOMAWAC und an der Station FINO III für SWAN dargestellt. Darüber hinaus sind für den gleichen Zeitraum und die gleichen Stationen Streudiagramme der Simulationsergebnisse (horizontale Achse) gegenüber den Messwerten (vertikale Achse) abgebildet. Der Sturm Xaver ereignete sich vom 05.-06. Dezember 2013.

Der mittlere absolute Fehler beträgt im Tiefwasser bei beiden Modellen in etwa 2 dm, wobei das SWAN-Modell im langjährigen Mittel weniger von den Messwerten abweicht. Im Übergangsbereich verringern sich die Abweichungen des TOMAWAC-Modells bis auf eine mittlere Unterschätzung in der Größenordnung von ca. 1 dm und einen mittleren absoluten Fehler von weniger als 2 dm, welcher räumlich variiert.

Im Hinblick auf den Multimodellvergleich ist eine gute Vergleichsbasis zur Einordnung der Simulationsergebnisse gelegt. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die SWAN-Simulationsergebnisse ausschließlich für den Vergleich unter Tiefwasserbedingungen herangezogen werden können.

Seegang (TOMAWAC, Stationen FINO I und Sylt) Vergleiche signifikante Wellenhöhe Messungen vs. Simulation im Jahr 2013

(Obs: Messung)

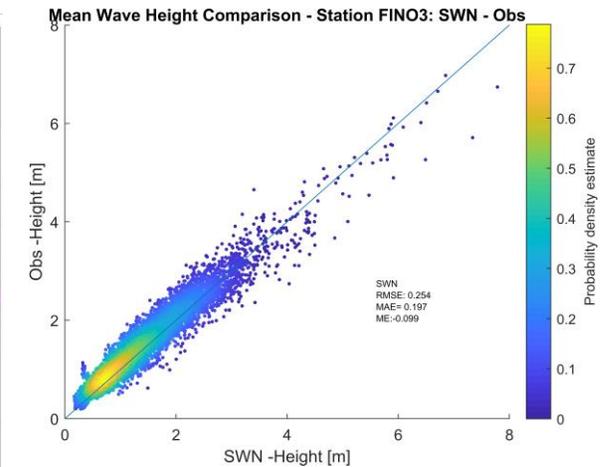
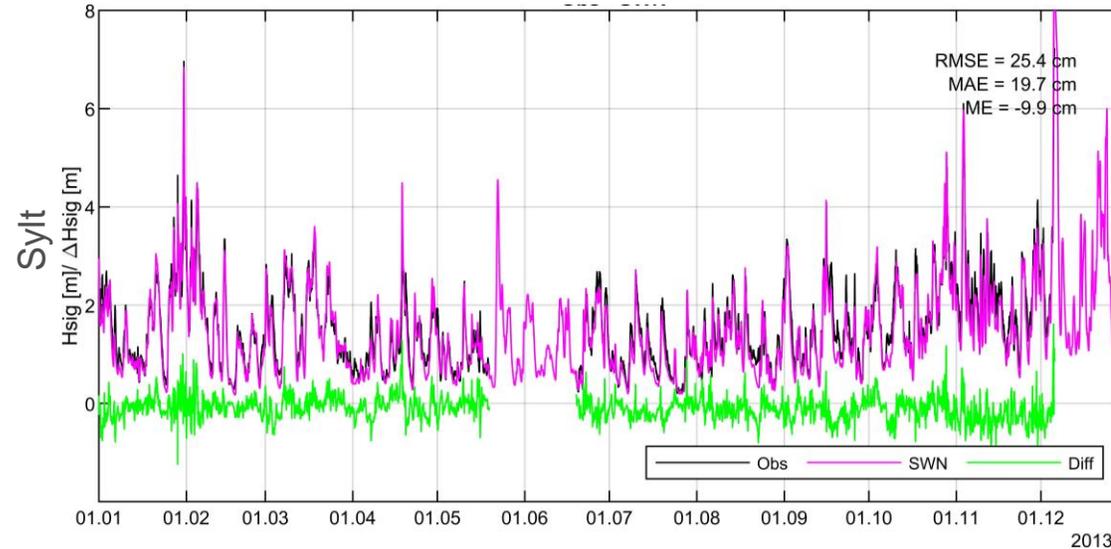
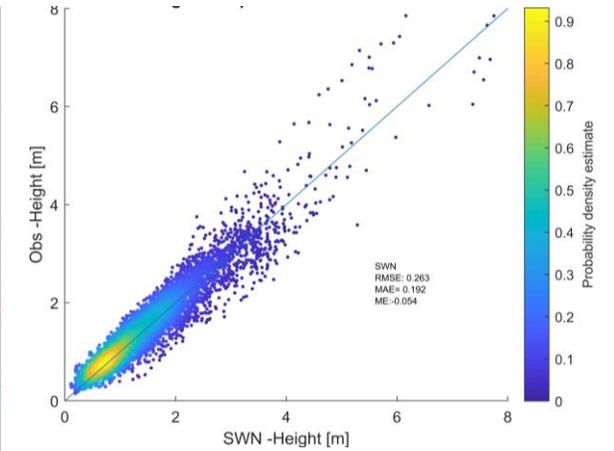
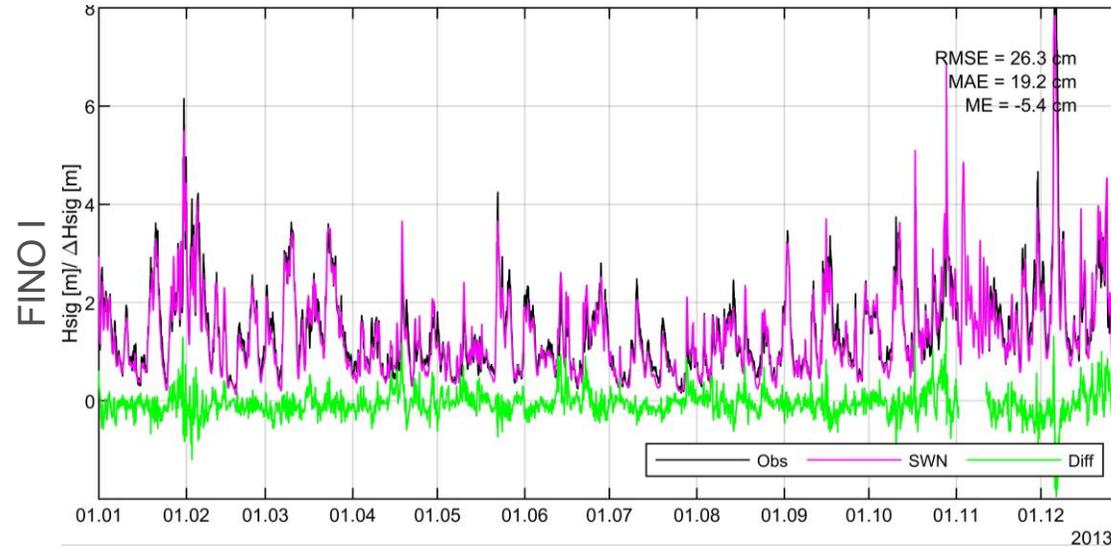
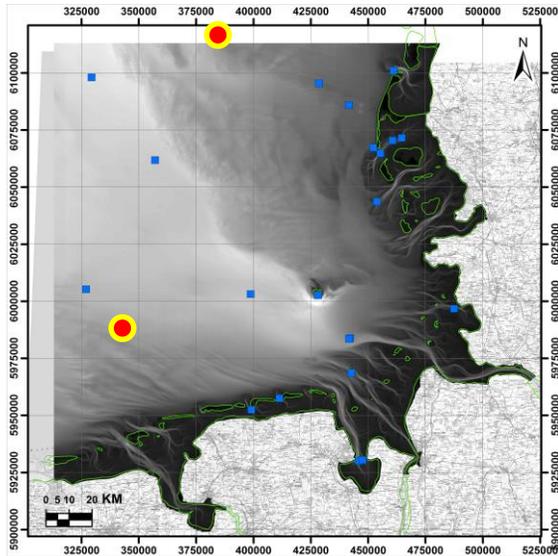


Bedingungen Tomawac-Modell:

- Kopplung mit Strömungsmodell
- Ausgabezeitschritt $\Delta t=10\text{min}$

Seegang (SWAN, nur Tiefwasser, Stationen FINO I und FINO III) Vergleiche signifikante Wellenhöhe Messungen vs. Simulation im Jahr 2013

(Obs: Messung)



Bedingungen SWAN-Modell:

- Kein Wasserstand & keine Strömung berücksichtigt
- Ausgabezeitschritt $\Delta t=60\text{min}$

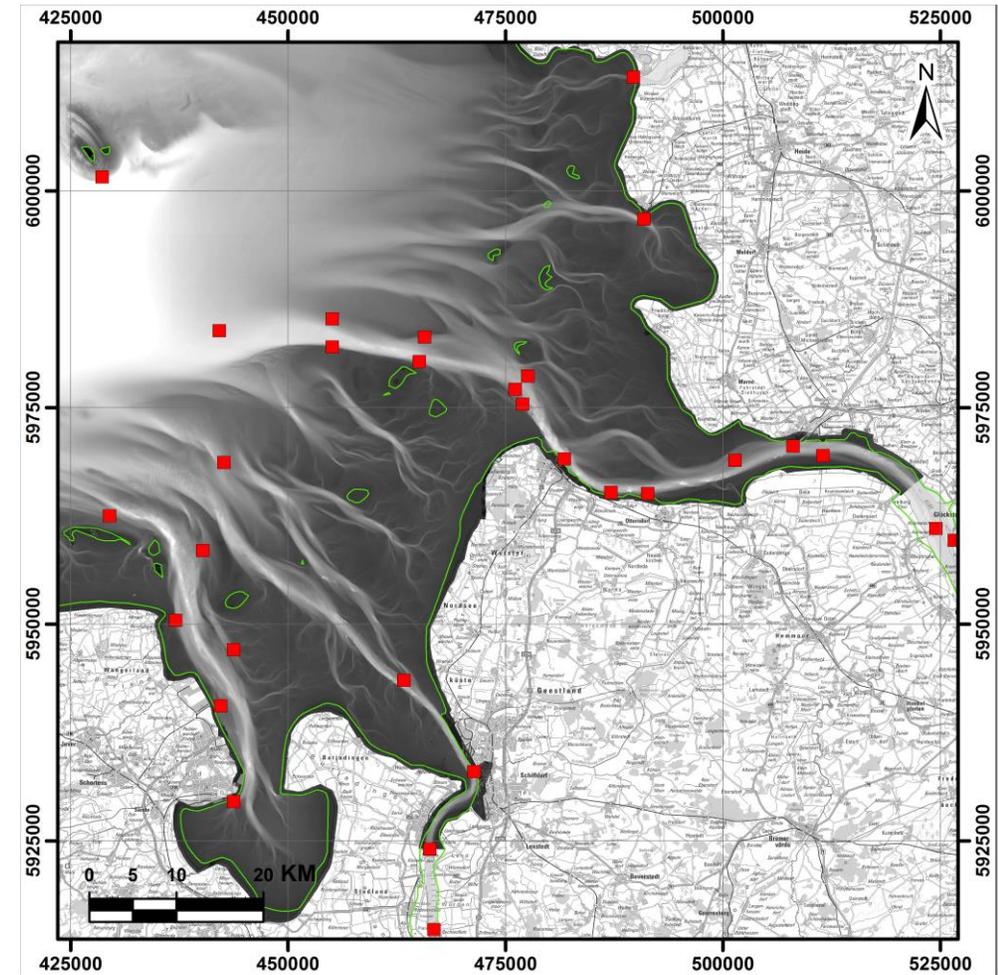
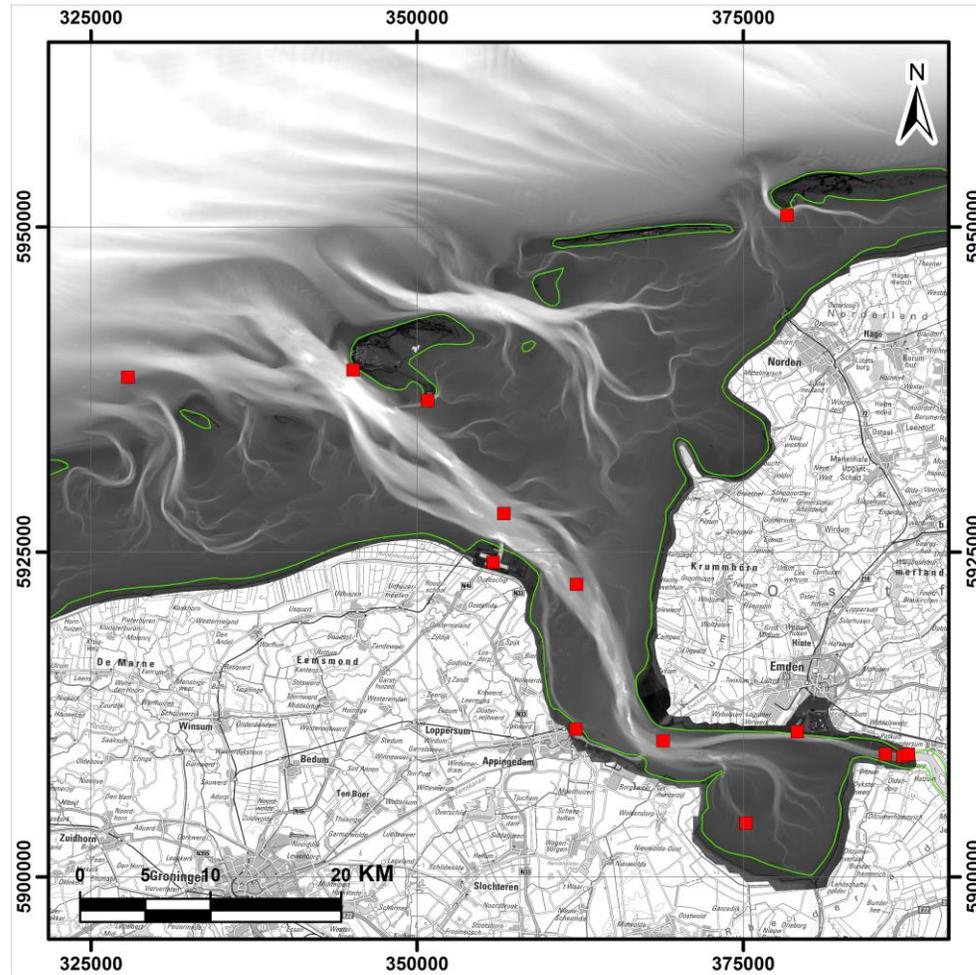
Erläuterungen Validierung Einzelmodelle in charakteristischen Gebieten

Wie eingangs angemerkt ist eine Zielsetzung des MM insbesondere die Modellaussagen in der nicht beobachteten Fläche zu untermauern. Dies kann nur dann gegenüber der Realität eingeordnet werden, wenn die Simulationsergebnisse für sich genommen in beobachteten Bereichen validiert wurden.

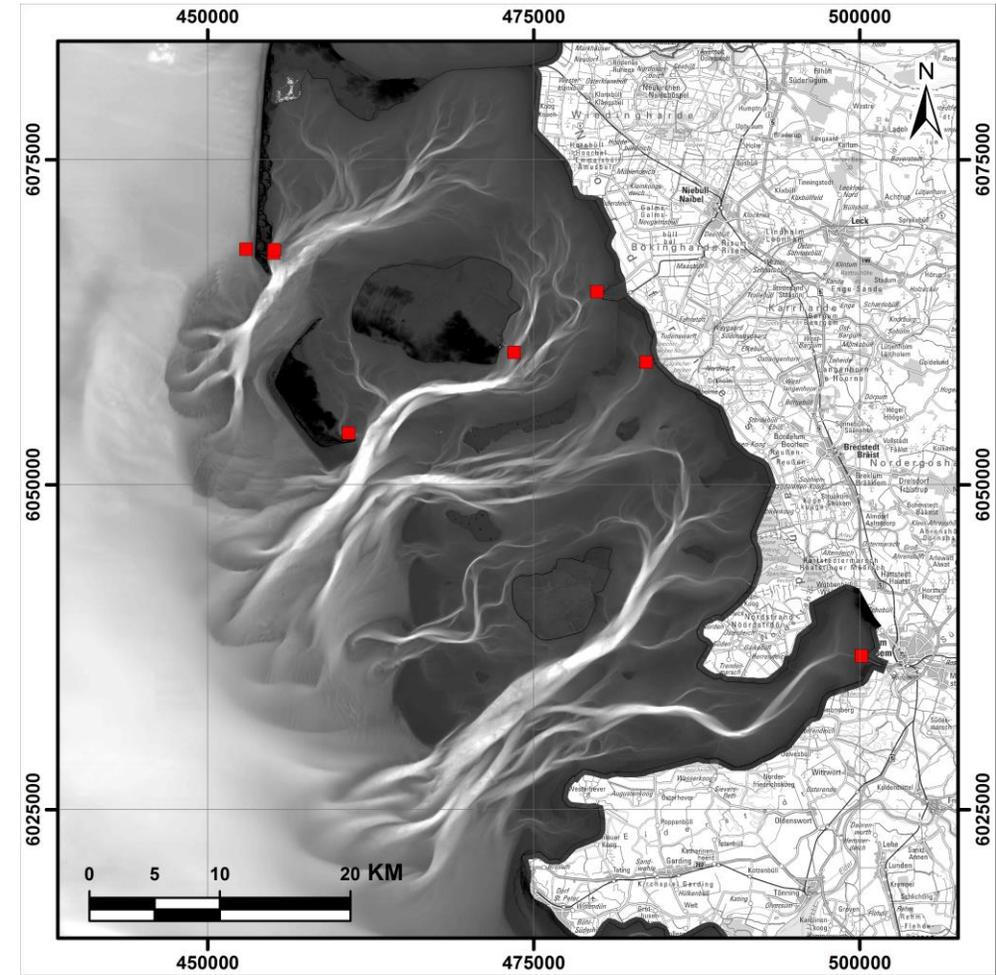
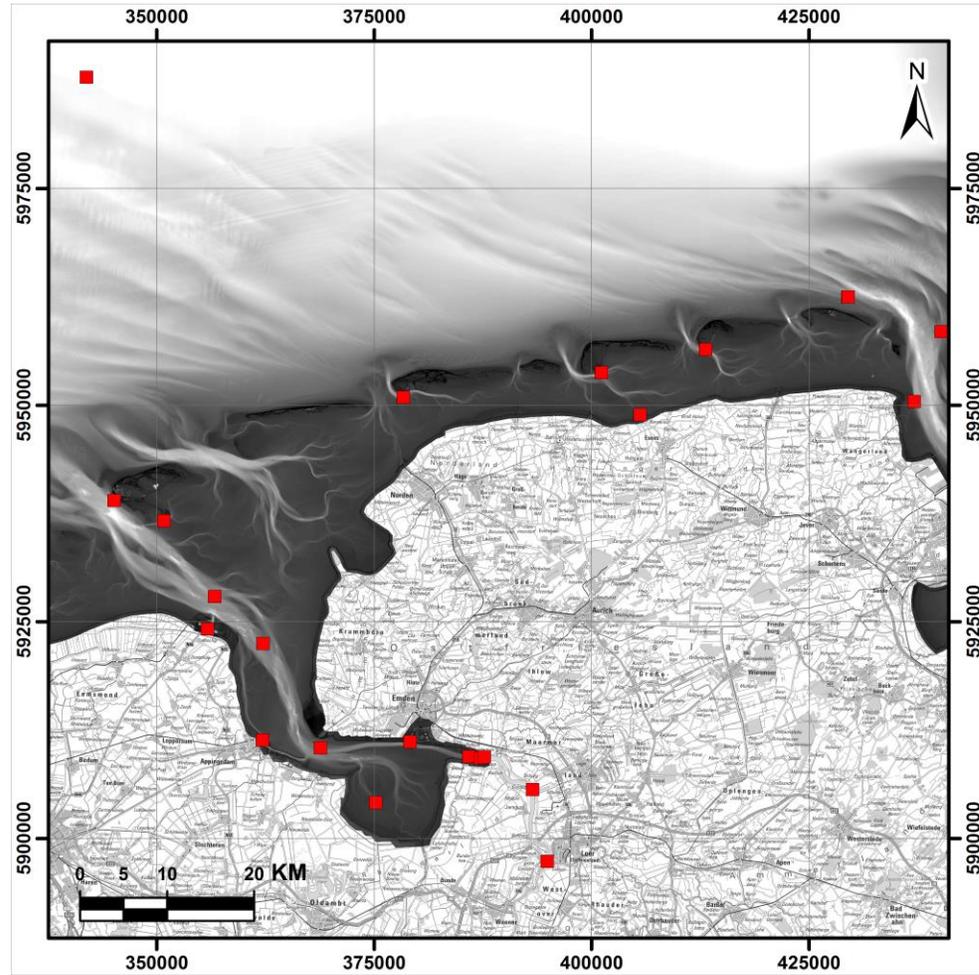
Nachfolgend sind einige Übersichten zu hydrographischen Messpositionen in der Deutschen Bucht abgebildet, welche für die Vergleiche herangezogen werden konnten. Auf den ersten Blick scheint die Dichte der Messpositionen relativ hoch zu sein. Der genauere Blick offenbart, dass insbesondere die drei großen Ästuare gut beobachtet werden. Die einzelnen Prielsysteme in den Wattflächen sind hingegen zumeist nur dann beobachtet, wenn sich eine Schifffahrtsrinne darin befindet.

Im Hinblick auf künftige Aufgaben des Umwelt- und Küstenschutzes sowie der Küsten- und Nordseebewirtschaftung ist dies ein Plädoyer dafür, den Umfang der Beobachtungen zu steigern bzw. die Verfügbarkeit von Daten zu verbessern und zu vereinheitlichen. Ein solches würde Datenanalysen wie in diesem Projekt erleichtern und die öffentliche Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft in die Lage versetzen, den Fokus noch stärker auf die Analysen denn auf die Datensuche, Sammlung bzw. Homogenisierung zu richten.

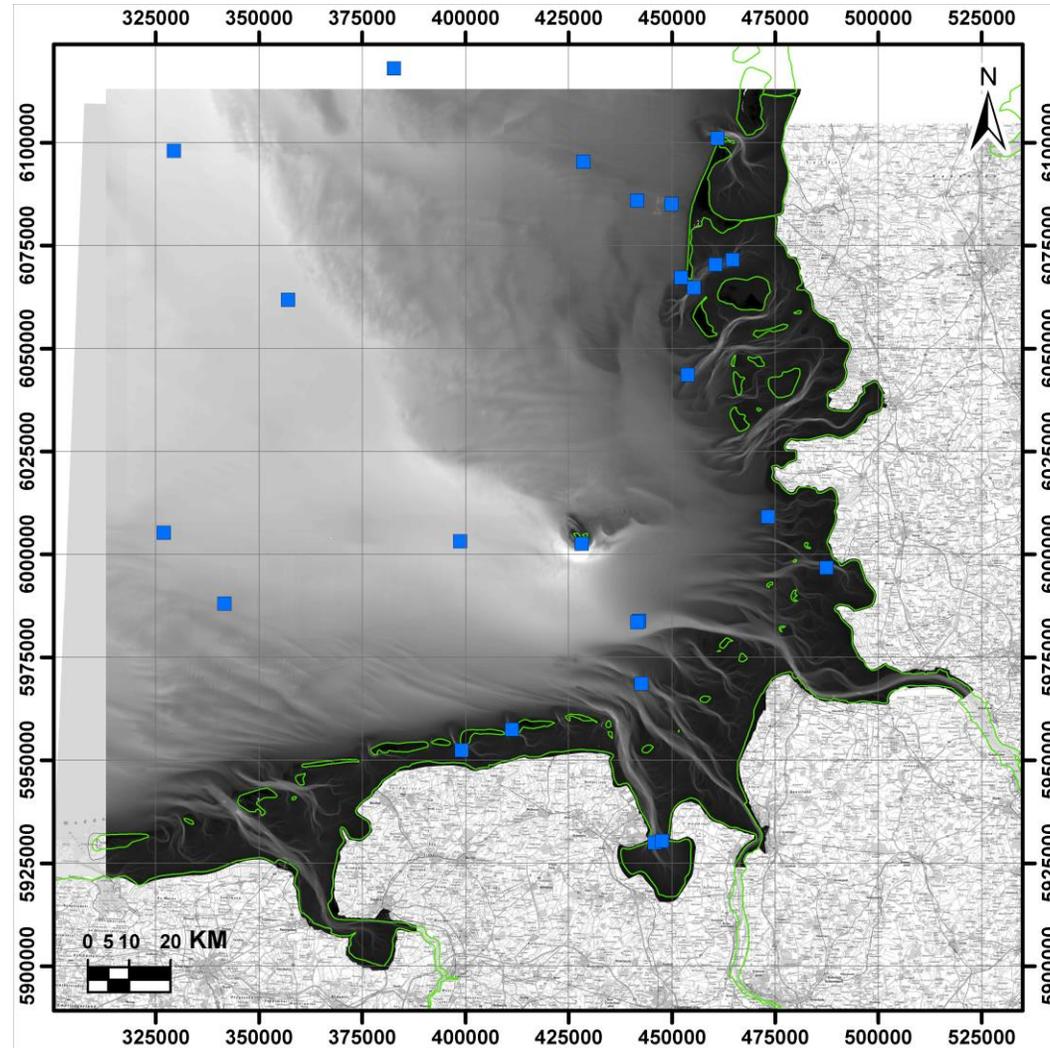
Validierung in den Ästuaren (Wasserstandsmessungen)



Validierung in den Wattgebieten (Wasserstandsmessungen)



Validierung in der Deutschen Bucht (Seegangsmessungen)



Erläuterungen Multimodellvalidierung

Analysen wie die der Tidekennwerte erlauben einen tieferen Blick in die Simulationsergebnisse. Kennwerte dienen der Beschreibung von Charakteristiken. Insofern hat der Vergleich von Kennwerten einen doppelten Vorteil. Zum einen werden die Vergleiche übersichtlicher, weil viele Größen zu wenigen Größen zusammengefasst werden können. Zum anderen werden Vergleiche von Aspekten des Systemverhaltens kondensiert verglichen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen einen exemplarischen Auszug aus dem MM-Vergleich an Messpositionen. Weitere MM-Analysen werden im Laufe des Jahres 2020 im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen verfügbar gemacht werden.

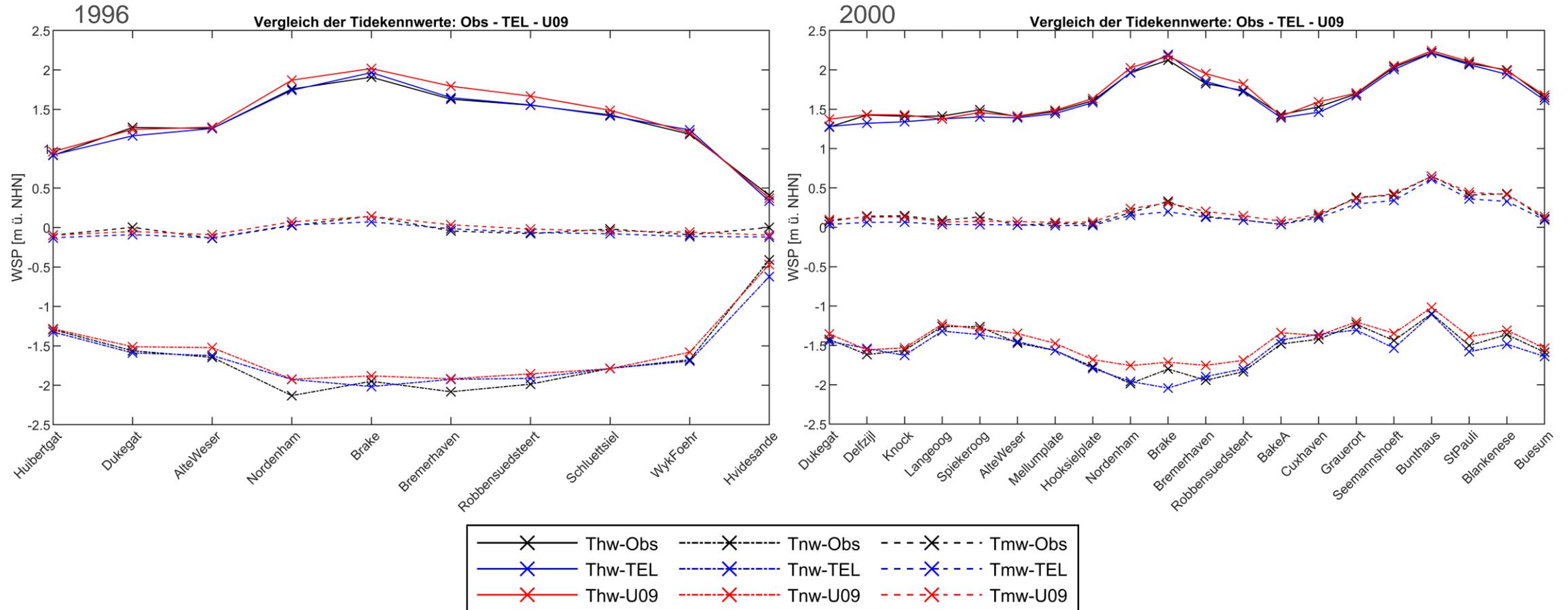
Die Grafiken zeigen für die Jahre 1996, 2000, 2005, 2010 und 2015 die Verläufe der mittleren Tidehochwasser (MThW), mittleren Tidemittelwasser (MTmW) sowie mittleren Tideniedrigwasser (MTnW) entlang der Küste der Nordsee mit Schwerpunkt in der Deutschen Bucht. Die Mittelwerte wurden jeweils über alle Tiden des Jahres gebildet. Es ist durchweg zu erkennen, dass beide eingesetzten Strömungsmodelle die mittleren Tideverhältnisse widerspiegeln, wobei keine deutliche Systematik bei der Abweichung der Werte von den Analysen der Messwerte zu erkennen ist.

Mit Hilfe dieses und weiterer MM-Vergleiche kann die Einschätzung der Qualität der Modellergebnisse in nicht beobachteten Gebieten erhöht werden. Insbesondere dort, wo die Abweichungen zwischen den Modellen groß im Vergleich zu den ermittelten Abweichungen bei den Messpositionen werden, ist eine entsprechend sorgsame Interpretation der Simulationsergebnisse erforderlich. Zusätzlich muss immer auch die Entfernung von den systemisch nächst gelegenen hydrographischen Messpositionen berücksichtigt werden. Diese können möglicherweise bereits Tendenzen in den Abweichungen anzeigen. Auch dort und im Nahbereich von Positionen, an denen Vergleiche mit Messungen eine gleichartige systematische Fehleinschätzung durch beide Modelle anzeigen, sind Ergebnisse in der Fläche kritisch zu hinterfragen.

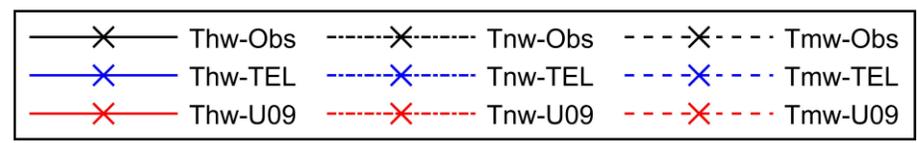
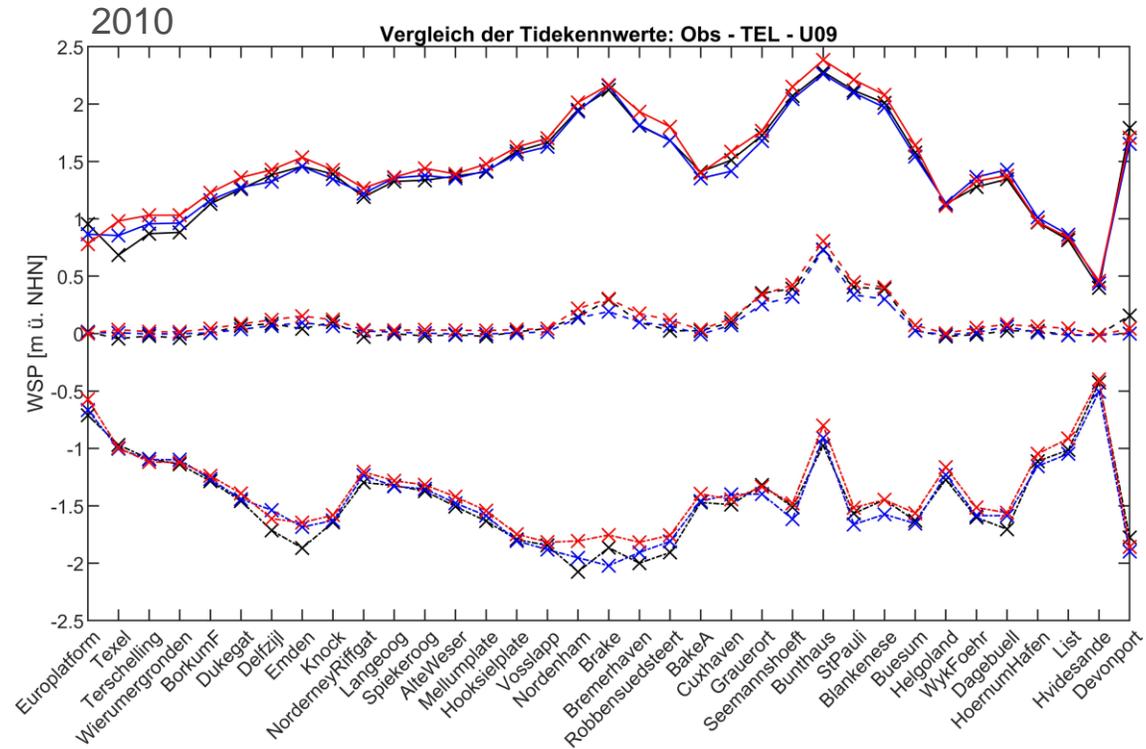
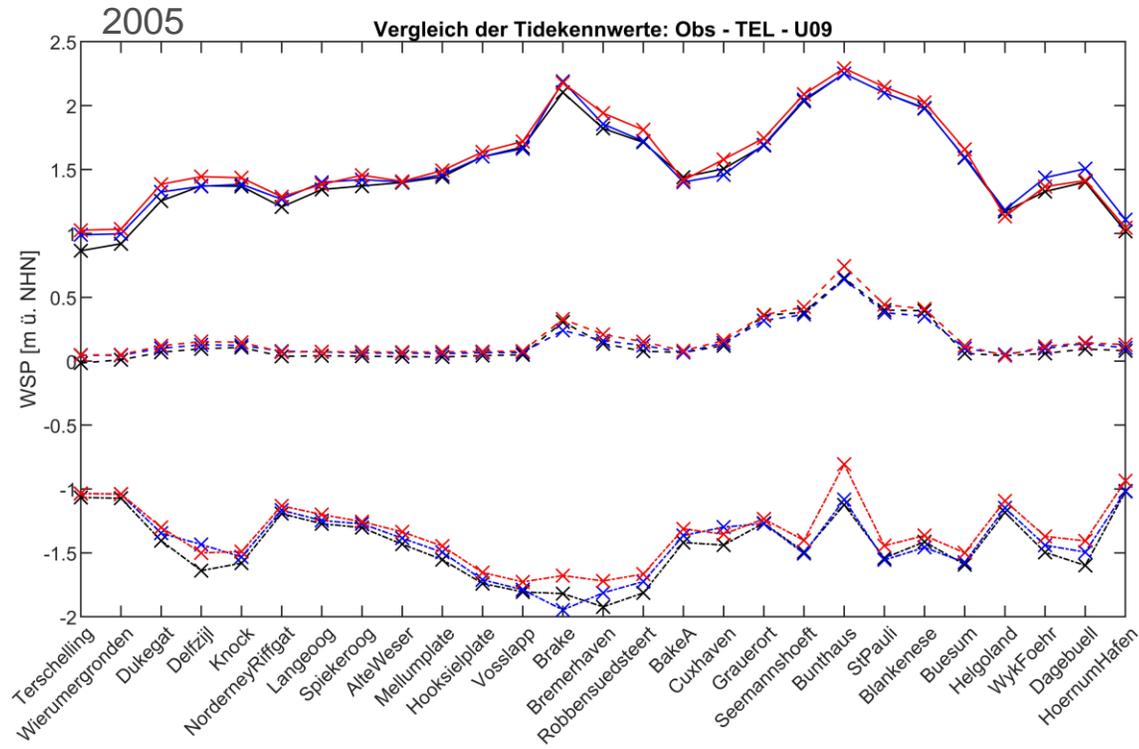
Folgende Abkürzungen werden verwendet:

Obs – Messung, U09 – UNTRIM², TEL – TELEMAC

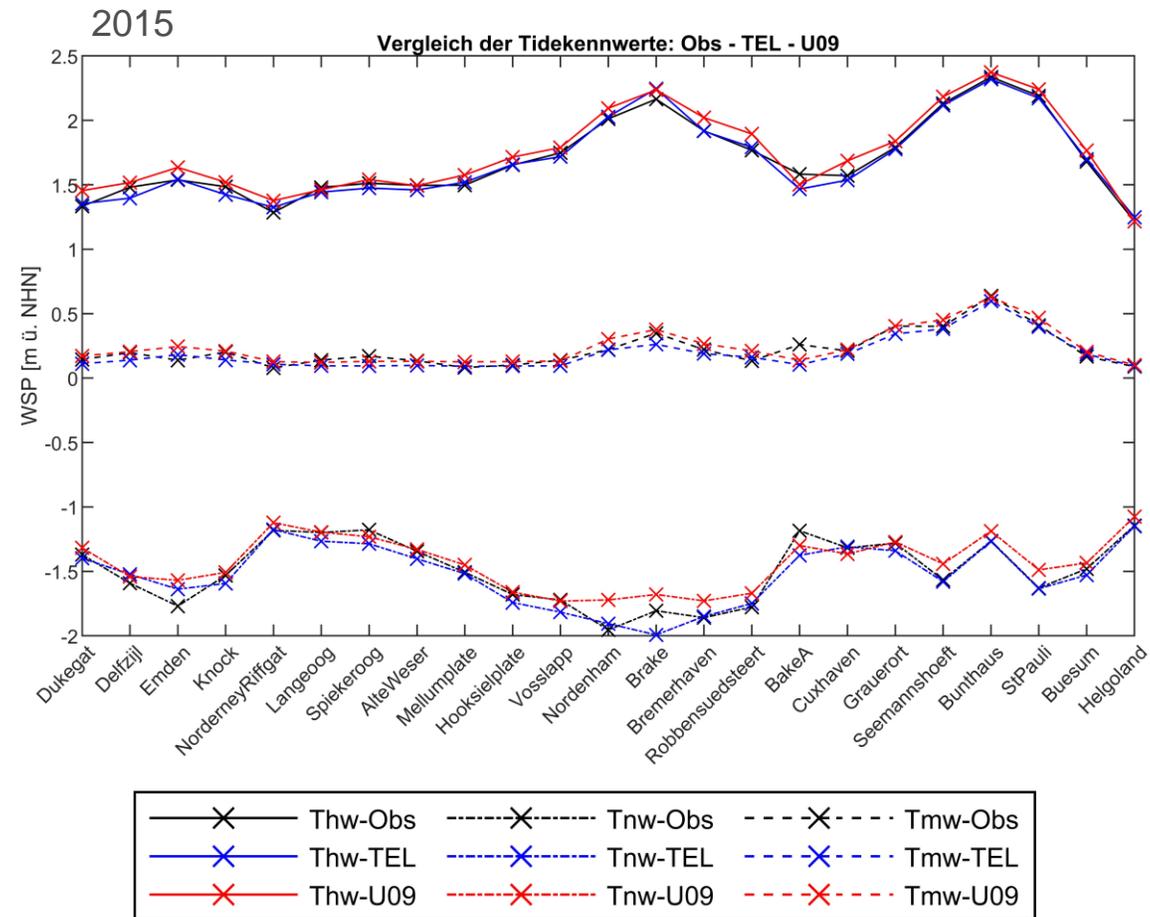
Multimodellvalidierung anhand der Tidekennwerte (1996, 2000)



Multimodellvalidierung anhand der Tidekennwerte (2005, 2010)



Multimodellvalidierung anhand der Tidekennwerte (2015)



Im Rahmen des Multimodellansatzes wurden die drei Seegangmodelle UNK, TOMAWAC und SWAN eingesetzt und zur Einschätzung der flächenhaften sowie stationsbezogenen Ergebnisse verwendet. Die Modelle UNK bzw. TOMAWAC sind mit dem jeweiligen komplementären Strömungsmodell (Untrim² bzw. TELEMAC) zur Berücksichtigung der lokalen Strömungen und des lokalen Wasserstands online gekoppelt betrieben worden. Das SWAN-Modell wurde mit einem zeitlich sowie räumlich konstanten mittleren Wasserstand (NHN +0 m) betrieben.

Zur Einordnung der Simulationsergebnisse der drei verwendeten Seegangmodelle UNK, TOMAWAC und SWAN sind nachfolgend exemplarisch sowohl für das Tiefwasser als auch für den Übergangsbereich direkte Vergleiche für die signifikante Wellenhöhe zwischen den Simulationsergebnissen und den Messwerten dargestellt. Für den Übergangsbereich ist die Aussagekraft der Ergebnisse des SWAN-Modells jedoch aufgrund des konstanten Wasserstands in den Simulationen eingeschränkt (deshalb wurden die Ergebnisse ausgegraut).

Aus den Vergleichen wird ersichtlich, dass die Simulationsergebnisse der drei Modelle im Tiefwasser relativ großen Schwankungen bei der Approximation der Messwerte unterliegen. Insgesamt wird das Bild der mit der Strömung und dem Wasserstand gekoppelt durchgeführten Simulationen im Übergangsbereich deutlich verbessert und die Schwankungsbreite der Simulationsergebnisse ist reduziert.

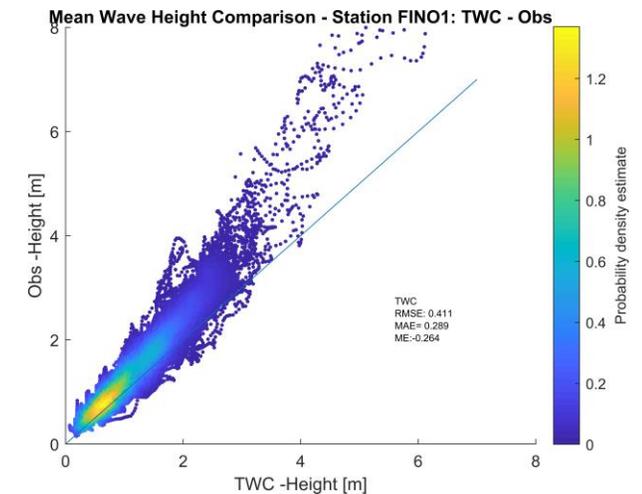
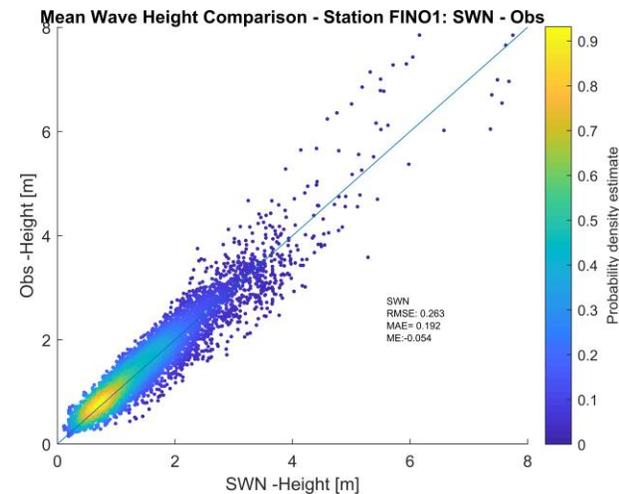
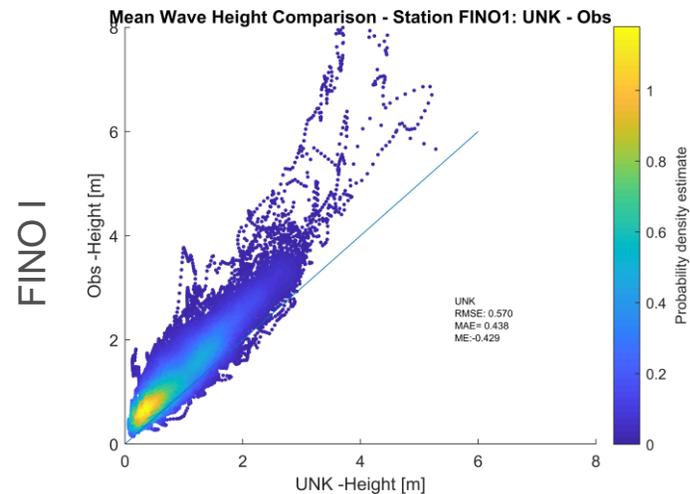
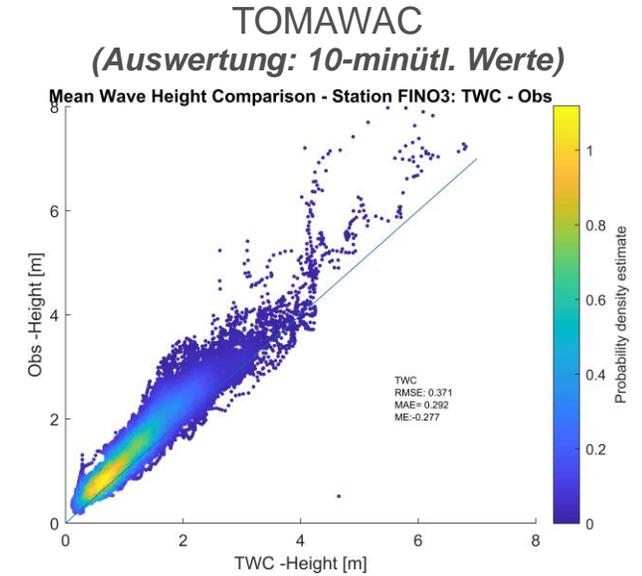
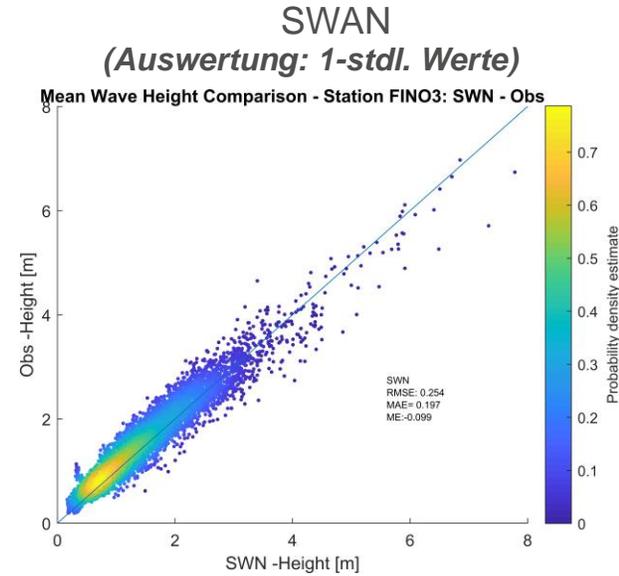
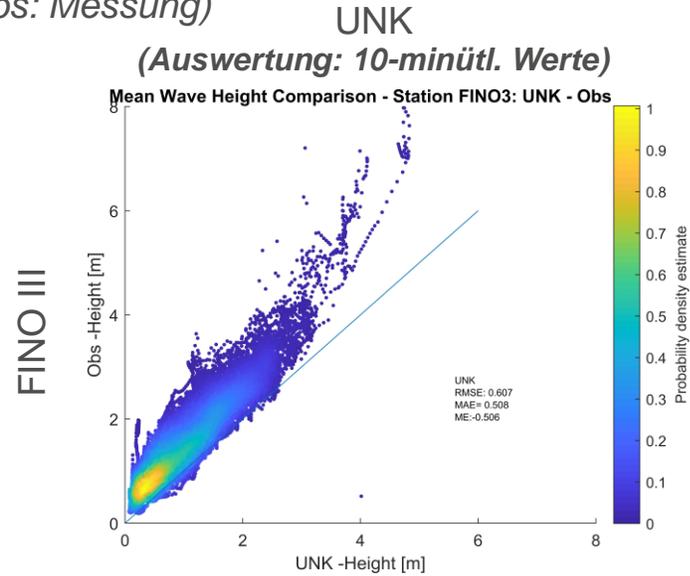
Folgende Abkürzungen werden verwendet:

Obs – Messung, UNK – UNK, TWC – TOMAWAC, SWN - SWAN

Multimodellvalidierung (Tiefwasser)

Exemplarischer Vergleich Simulation vs. Messung für das Jahr 2013 (UNK – SWN – TWC)

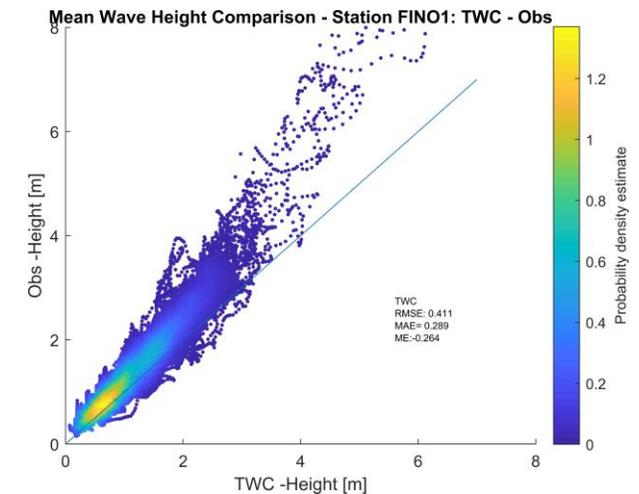
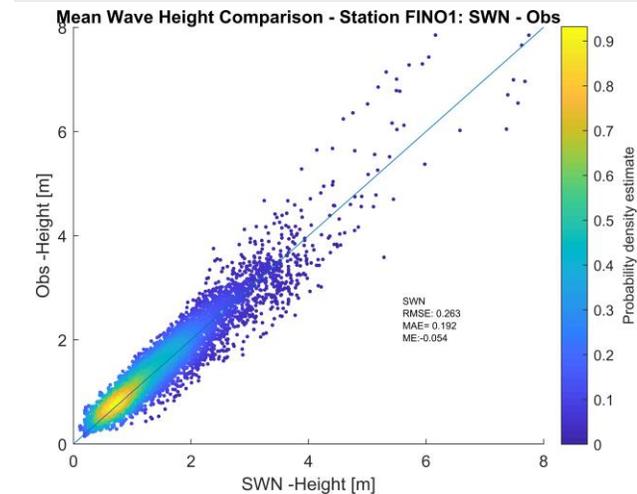
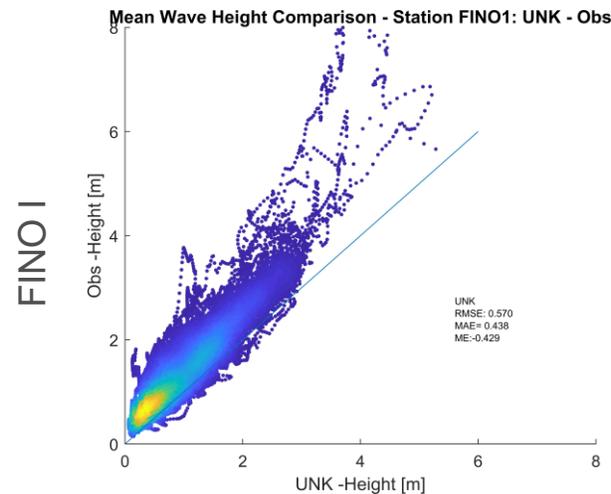
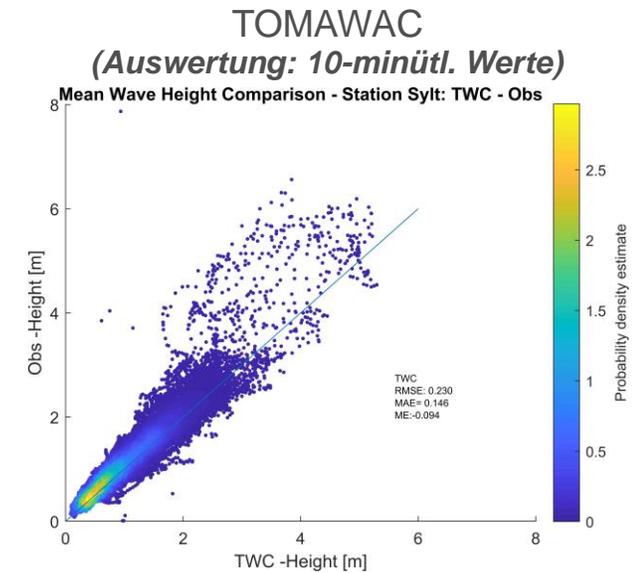
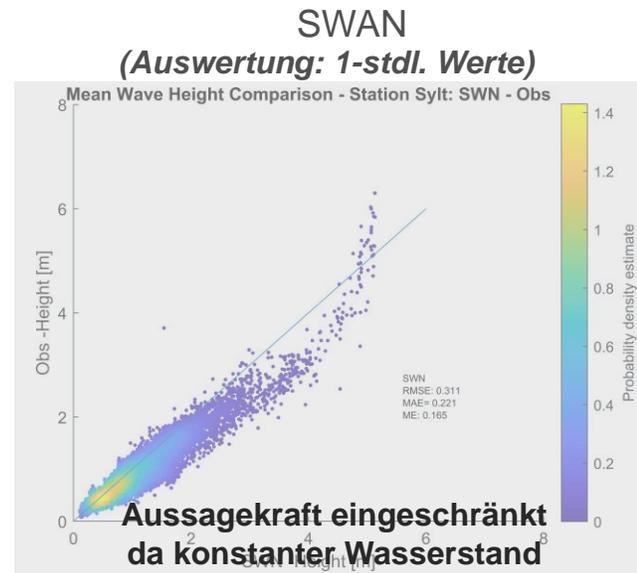
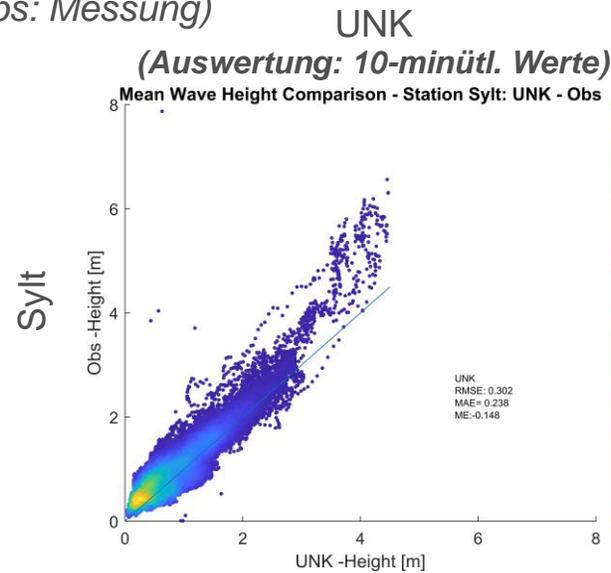
(Obs: Messung)



Multimodellvalidierung (Übergangsbereich)

Exemplarischer Vergleich Simulation vs. Messung für das Jahr 2013 (UNK – SWN – TWC)

(Obs: Messung)



- Erkenntnisse Multimodellvalidierung Hydrodynamik
 - Die beiden eingesetzten Modelle reproduzieren die Hydrodynamik im Bereich der gesamten Deutschen Bucht über den gesamten Zeitraum (1996 – 2015) in sehr guter Qualität
 - Die mittleren absoluten Abweichungen der simulierten Wasserstände gegenüber den gemessenen Wasserstände liegen an den meisten Positionen unterhalb von 10 cm
 - Die gilt insbesondere im Bereich der Küste, wo komplexe Strömungsverhältnisse vorherrschen (Ästuarmündungen, Wattenmeer)
 - Die drei eingesetzten Modelle reproduzieren den Seegang im Bereich der gesamten Deutschen Bucht über den gesamten Zeitraum (1996 – 2015) in guter Qualität
 - Die mittleren absoluten Abweichungen der aus Simulationsergebnissen berechneten signifikanten Wellenhöhe zu der auf Basis von Messwerten ermittelten signifikanten Wellenhöhe liegen in der Größenordnung 10 und 50 cm
 - Im Tiefwasser (>20 m) sowie im Flachwasser sind vor allem bei größeren Wellenhöhen größere Abweichungen zu erkennen



Stationsbezogene Seegangprodukte

Erläuterungen Stationsbezogene Produkte Seegang

Auf der Basis des Seegangmodells SWAN wurden im Tiefwasserbereich stationsbezogene sowie flächenhafte Seegangprodukte erzeugt. Nachfolgend werden beispielhaft die stationsbezogenen Seegangprodukte vorgestellt.

Eine Gruppe von Punkten befindet sich auf dem Rand des Produktgebietes (Produktpunkte „DB-Rand“, siehe gelbe Punkte in der folgenden Abb.). Die andere Gruppe von Produktpunkten verläuft in der Nähe der 20m-Tiefenlinie also in der Nähe vom Übergangsbereich zum Tiefwasser (Produktpunkte „Küste“, siehe rote Punkte in der folgenden Abb.).

Die aus den Ergebnissen an den Produktpunkten „Küste“ abgeleiteten Produkte (z.B. Häufigkeitsverteilungen) werden vor dem Hintergrund möglicher Anwendungen im Küstenschutz bereit gestellt. Die aus den Ergebnissen an den Produktpunkten „DB-Rand“ abgeleiteten Produkte (z.B. Seegangsspektren und spektrale Seegangparameter) werden z.B. als Randwerte für den Betrieb von Detailmodellen für die Deutsche Bucht bereit gestellt.

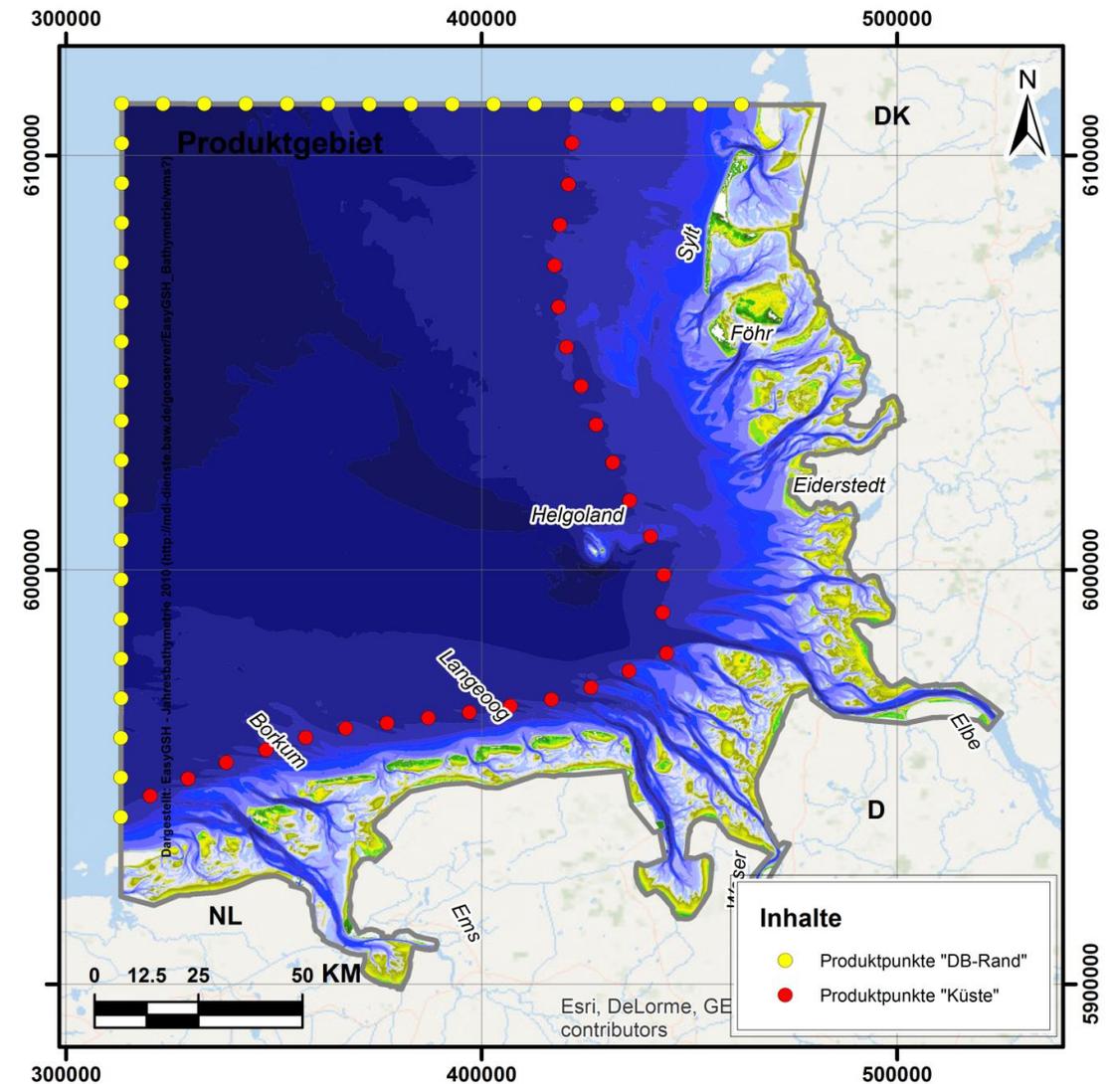
Weiterhin wurden die bereitgestellten Seegangsspektren für die Analyse der Seegangsverhältnisse sowie für die Modellvalidierung im Frequenzbereich verwendet. Hierbei ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Seegangsspektren während Sturmereignissen im Tiefwasser. Ein Beispiel für ein mit SWAN berechnetes Seegangsspektrum in der Nähe der Lokation FINO I ist exemplarisch in der folgenden Abb. dargestellt.

Die bereitgestellten jährlichen Häufigkeitsverteilungen bieten weitere Möglichkeiten für die statistische Analyse der Seegangsverhältnisse. Anhand der grafischen Darstellungen der Häufigkeitsverteilungen können die Haupt-Wellenanlafrichtungen sowie die maximalen signifikanten Wellenhöhen und die dazugehörigen Wellenanlafrichtungen intuitiv erfasst werden. Nachfolgend sind zwei beispielhafte Häufigkeitsverteilungen an zwei ausgewählten Produktpunkten an der ost- bzw. nordfriesischen Küste für das Jahr 2013 dargestellt. Die maximale signifikante Wellenhöhe des Jahres 2013 trat an beiden Punkten während des Sturmereignisses Xaver auf. Die Häufigkeitsverteilung geben darüber hinaus Aufschluss über die räumliche Variation der Seegangsverhältnisse.

Beispielsweise treten größere signifikante Wellenhöhen an dem ausgewählten Punkt an der nordfriesischen Küste für Wellenanlafrichtungen aus NW bis SW und an der ostfriesischen Küste vorrangig aus NW Richtungen auf.

Produkte Seegang – Stationsbezogene Produkte

- Stationsbezogene Produkte
 - Am Rand der Deutschen Bucht
 - Im Bereich der Küste

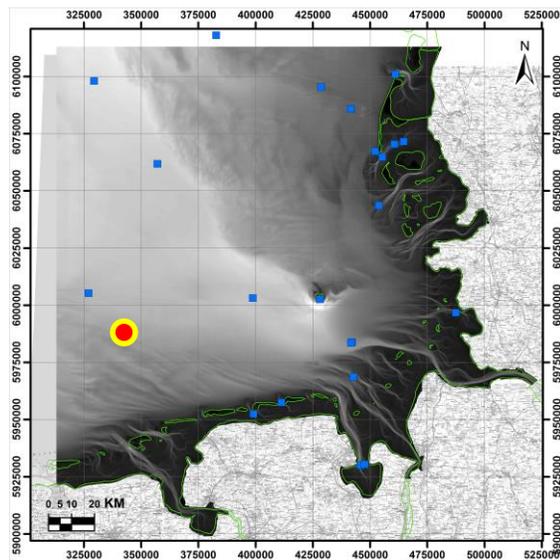


Produkte Seegang – Stationsbezogene Produkte

- Produktpunkte DB-Rand: 34 Punkte entlang des Randes der DB
- Produkte
 - Seegangsspektren
 - Seegangenergiedichte $S(f, \theta)$
 - Spektrale Seegangparameter
 - Signifikante Wellenhöhe (H_{m0}), mittlere Periode (T_{m02}), Energieperiode ($T_{m-1,0}$), Peakperiode (T_p), mittlere Wellenanlaufrichtung (Θ_m), directional spreading (Ψ)

Produkte Seegang – Stationsbezogene Produkte

- Beispiel Seegangenergiedichte $S(f, \theta)$ in der Nähe von FINO I während des Sturms Xaver (2013-12-05 22UTC)



Wassertiefe: $d \sim 30\text{m}$

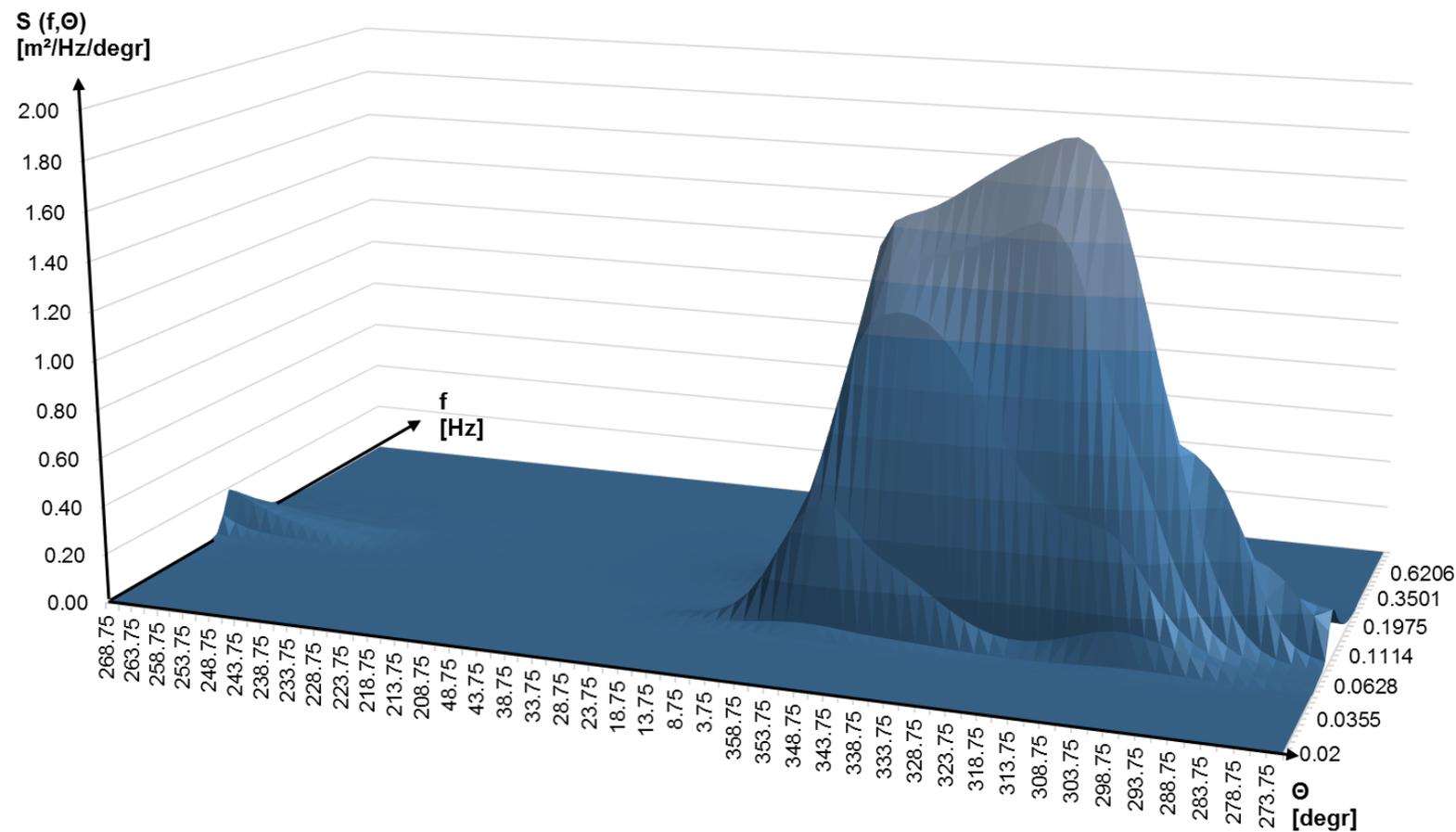
Spektrale Parameter:

$H_{m0} = 7.8\text{m}$

$T_p = 13.1\text{s}$

$\theta_m = 318^\circ$

$\theta_p = 316^\circ$



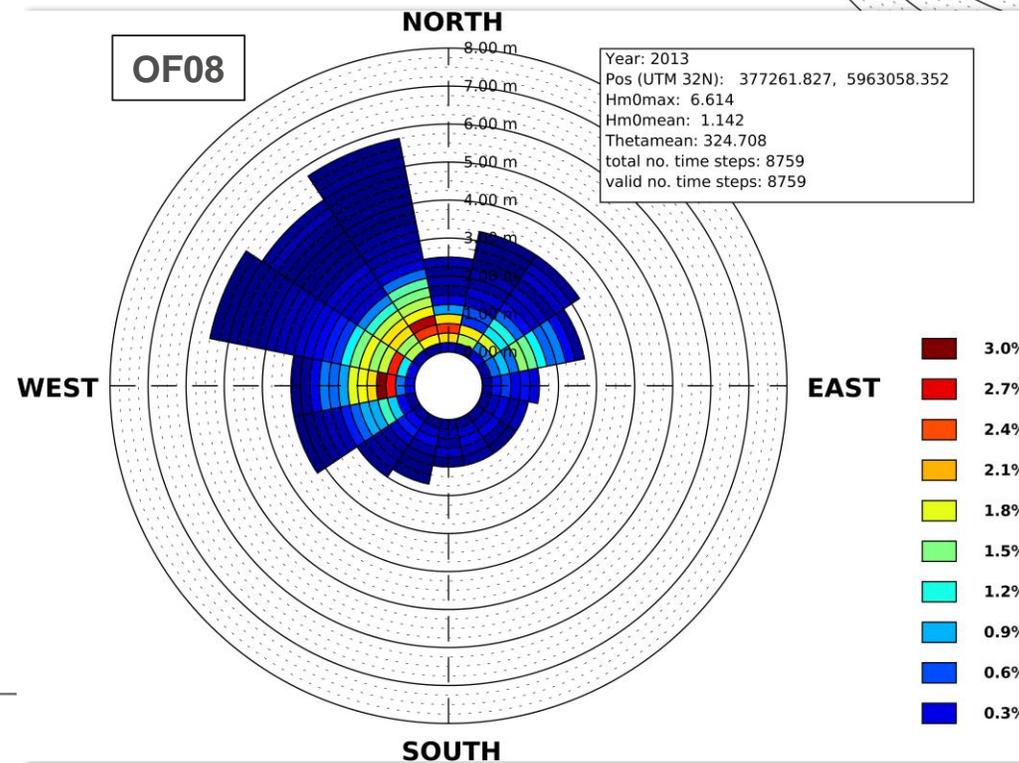
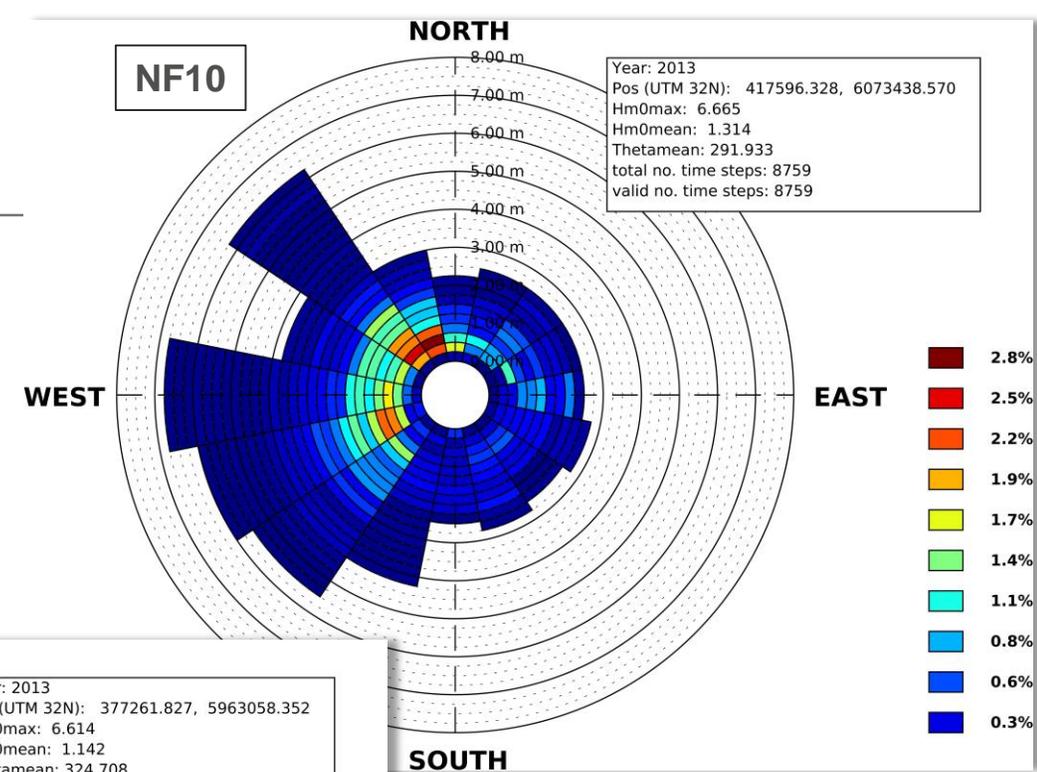
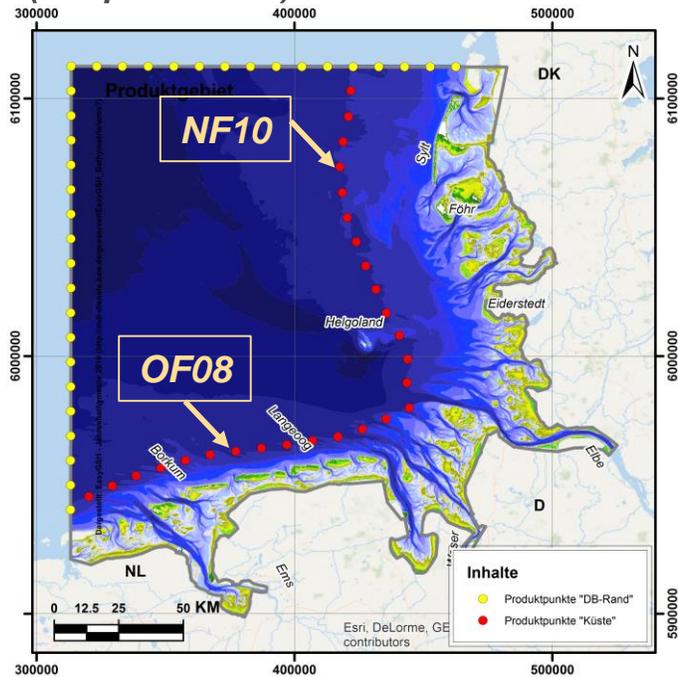
Produkte Seegang – Stationsbezogene Produkte

- Produktpunkte Küste: 27 Punkte in der Nähe der 20m-Tiefenlinie
- Produkte
 - 2D-Häufigkeitsverteilung
 - Häufigkeitsverteilung H_{m0} und Θ_m sowie zugehörige T_p
 - Spektrale Seegangparameter
 - Jahresmaxima H_{m0}

Stationsbezogene Produkte Seegang

Produktpunkte „Küste“

Häufigkeitsverteilung der signifikanten Wellenhöhe (H_{m0}) und mittleren Wellenanlaufriechung (Θ_m)
(Bsp. 2013)



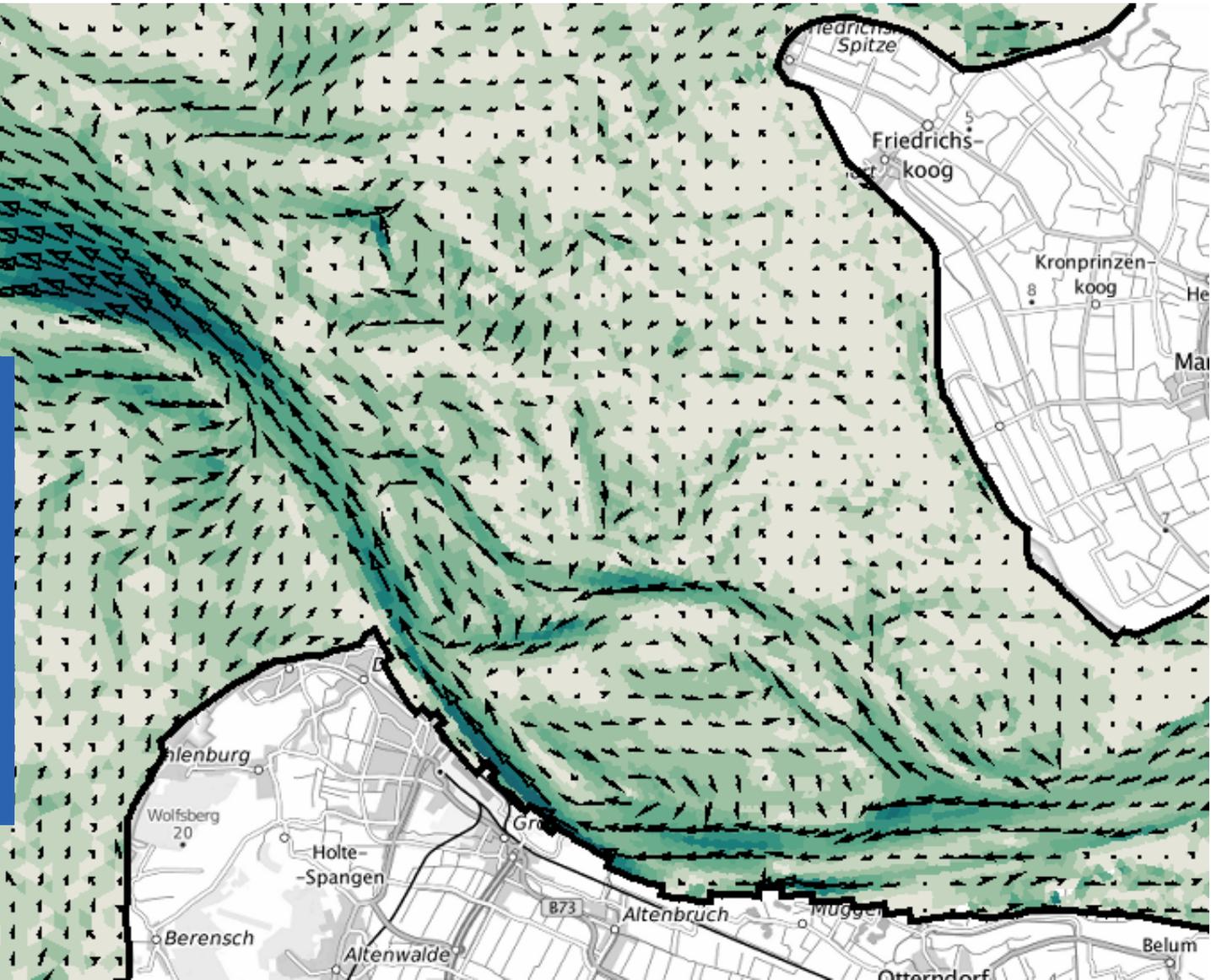


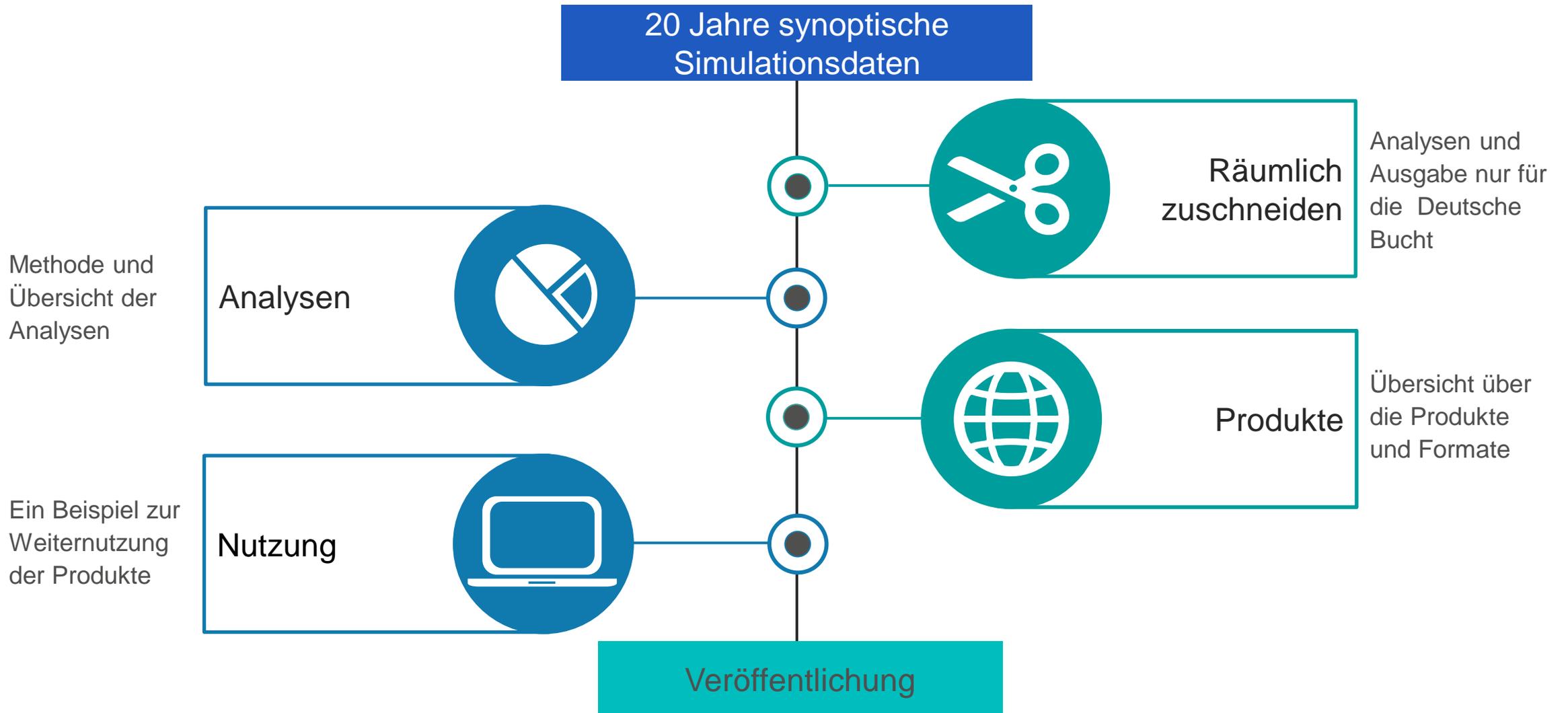
Hydrodynamik

Flächenhafte Analyse

Abschlussveranstaltung

Hamburg, 17.03.2020

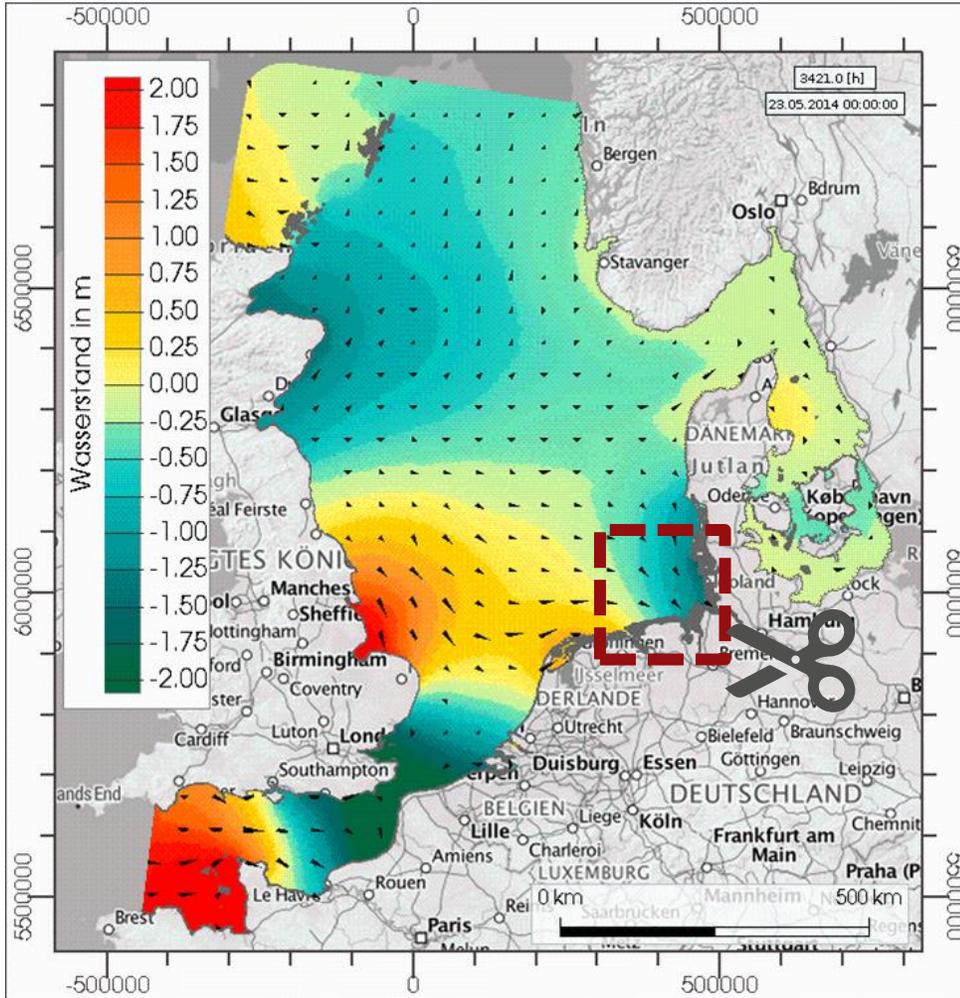




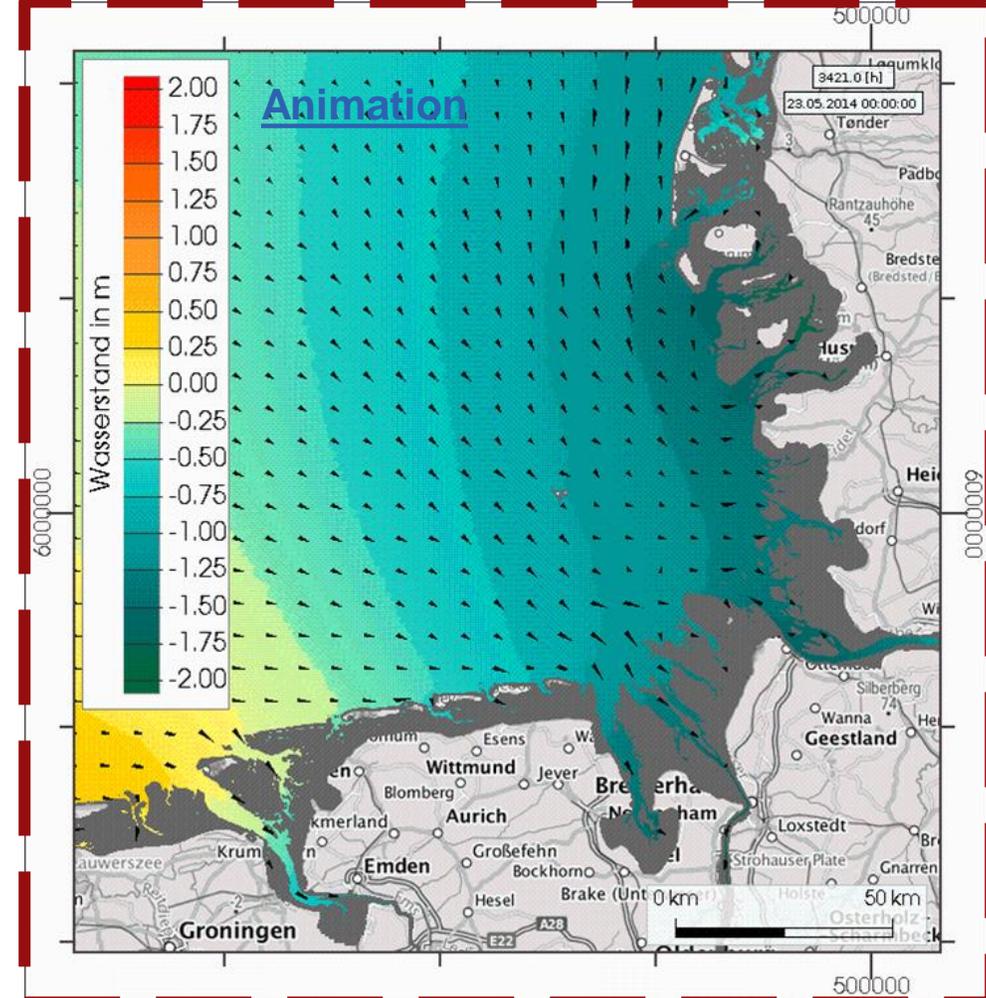
Zuschneiden auf das Fokusgebiet Deutsche Bucht



Synoptischer Wasserstand 2014 - Nordsee



Synoptischer Wasserstand 2014 - Deutsche Bucht

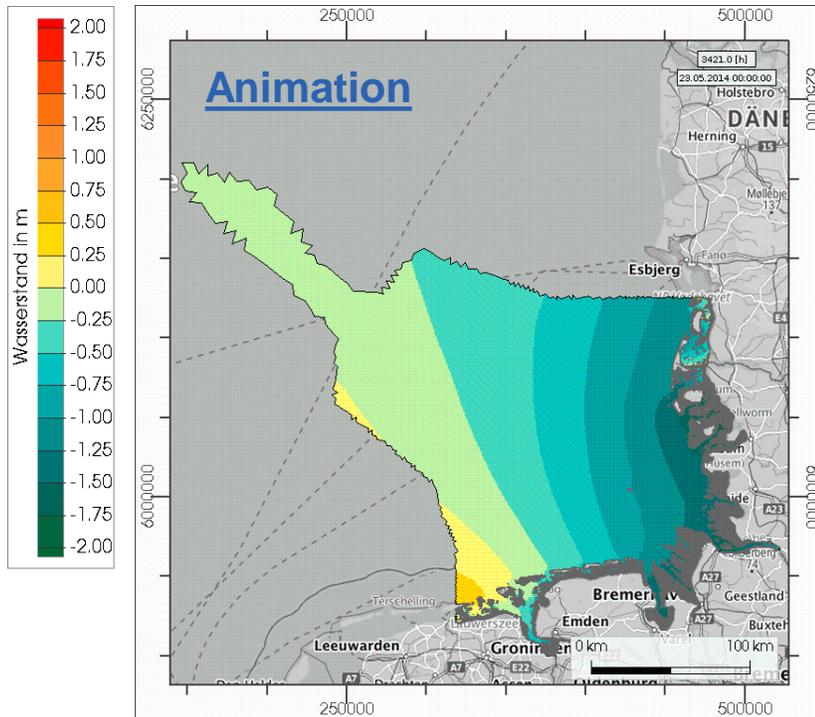


Hintergrund aus TopWebPlus (Kartendienst des BKG www.bkg.de)

Hintergrund aus TopWebPlus (Kartendienst des BKG www.bkg.de)

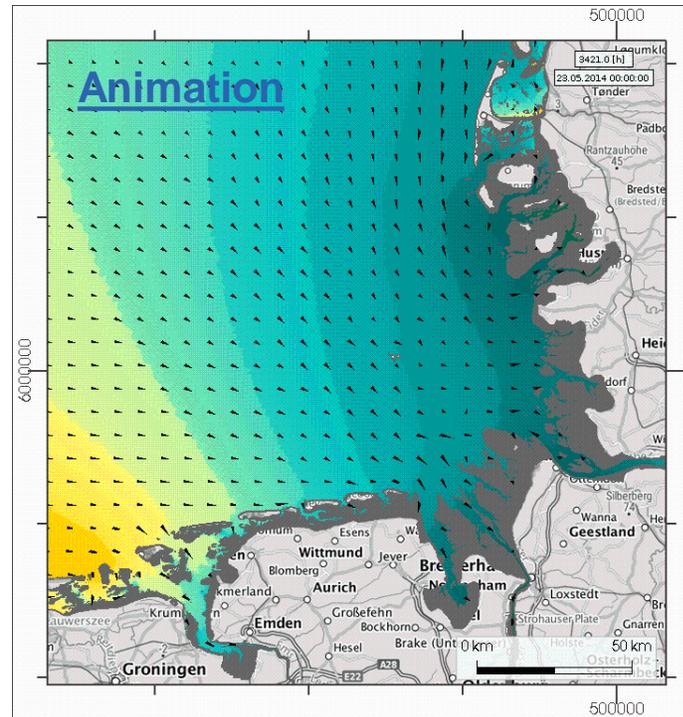
Ausschließliche Wirtschaftszone: (AWZ)

- Zusätzliche Ausgabe von:
- Tidehub
- Tideniedrig- und Tidehochwasser



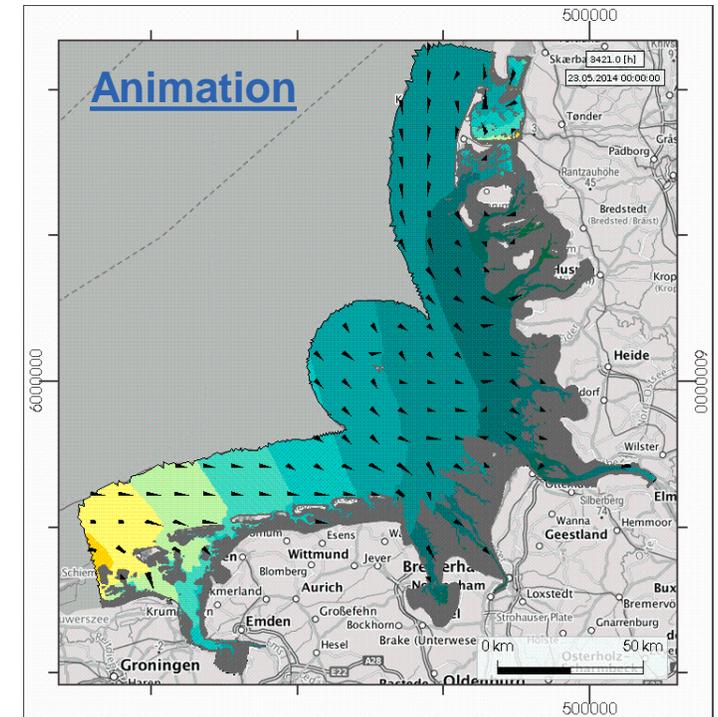
Erweiterte Deutsche Bucht:

- Standardausgabe
- alle Größen, außer die der 12sm



12 Seemeilen-Zone:

- Überflutungsdauer
- Anzahl der Tideniedrig- und Tidehochwasser



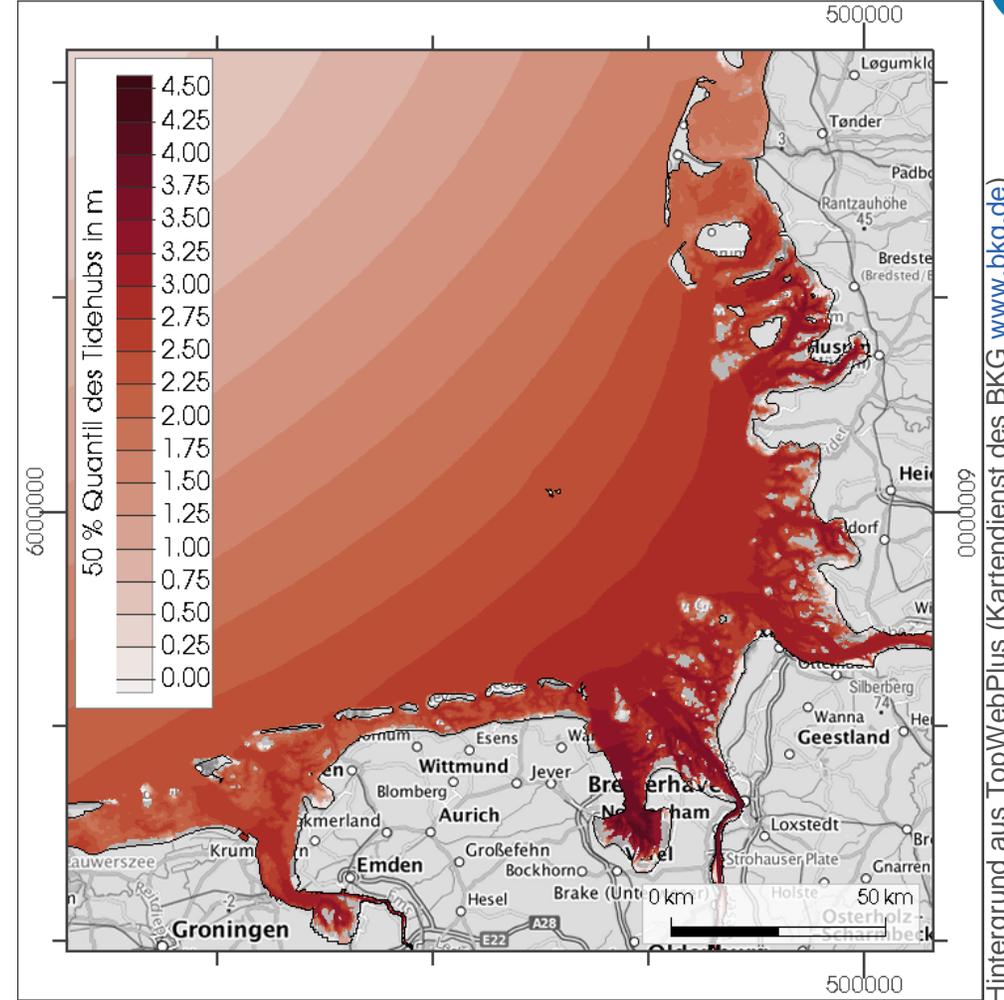
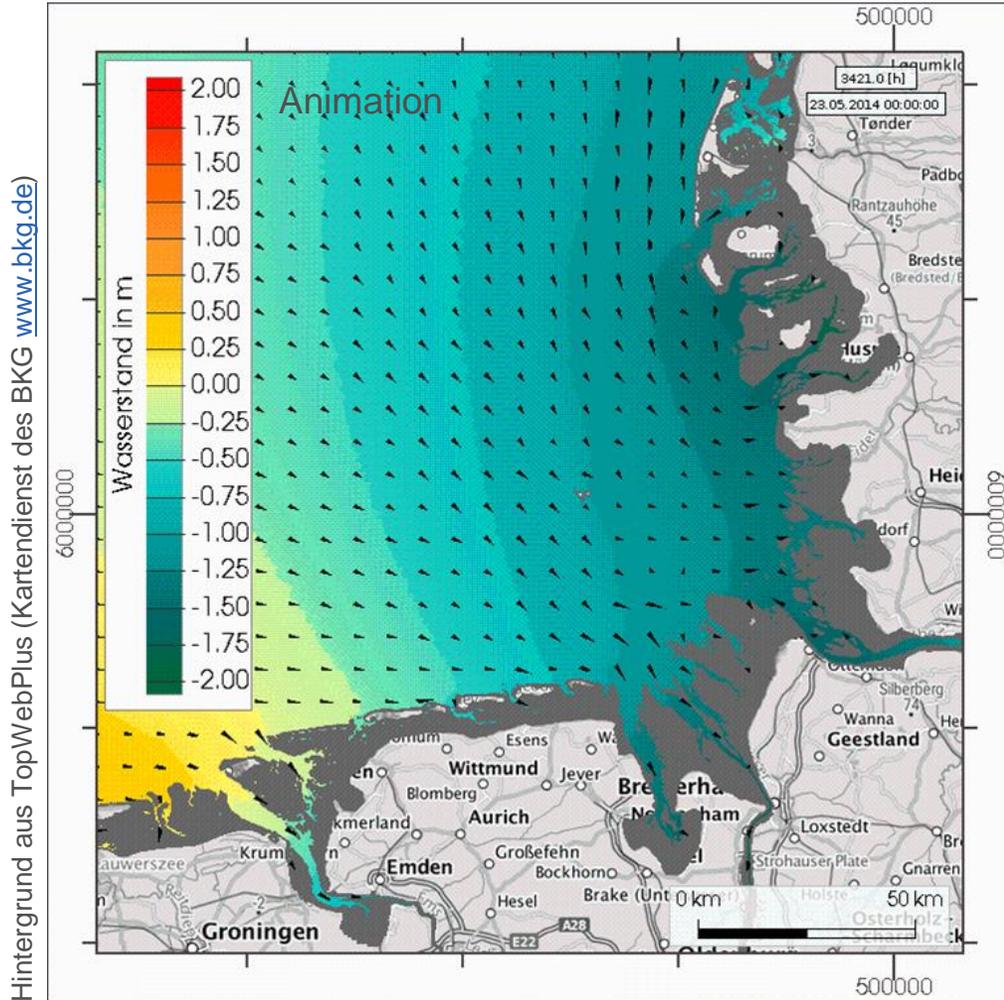


- Die synoptischen Simulationsergebnisse werden auf das Fokusgebiet erweiterte Deutsche Bucht zugeschnitten
- Das Zerschneider ermöglicht
 - Analysen nur in dem höher aufgelöstem Bereich durchzuführen,
 - die Datenmenge zu reduzieren.
- Es gibt, neben dem Fokusgebiet der erweiterten Deutschen Bucht, 2 weitere Zerschneidegebiete.
 - Auf Wunsch von Nutzern werden die Größen Tidehub, Tidehoch- und Tideniedrigwasser auch für die Ausschließliche Wirtschaftszone ausgegeben.
 - Zusätzlich werden die Größen Überflutungsdauer und Anzahl der Tidehoch- und Tideniedrigwasser nur in der 12 Seemeilen-zone ausgegeben, da diese Größen nur im Küstenbereich interessant sind und damit weitere Datenreduktion ermöglicht.

Synoptischer Wasserstand 2014

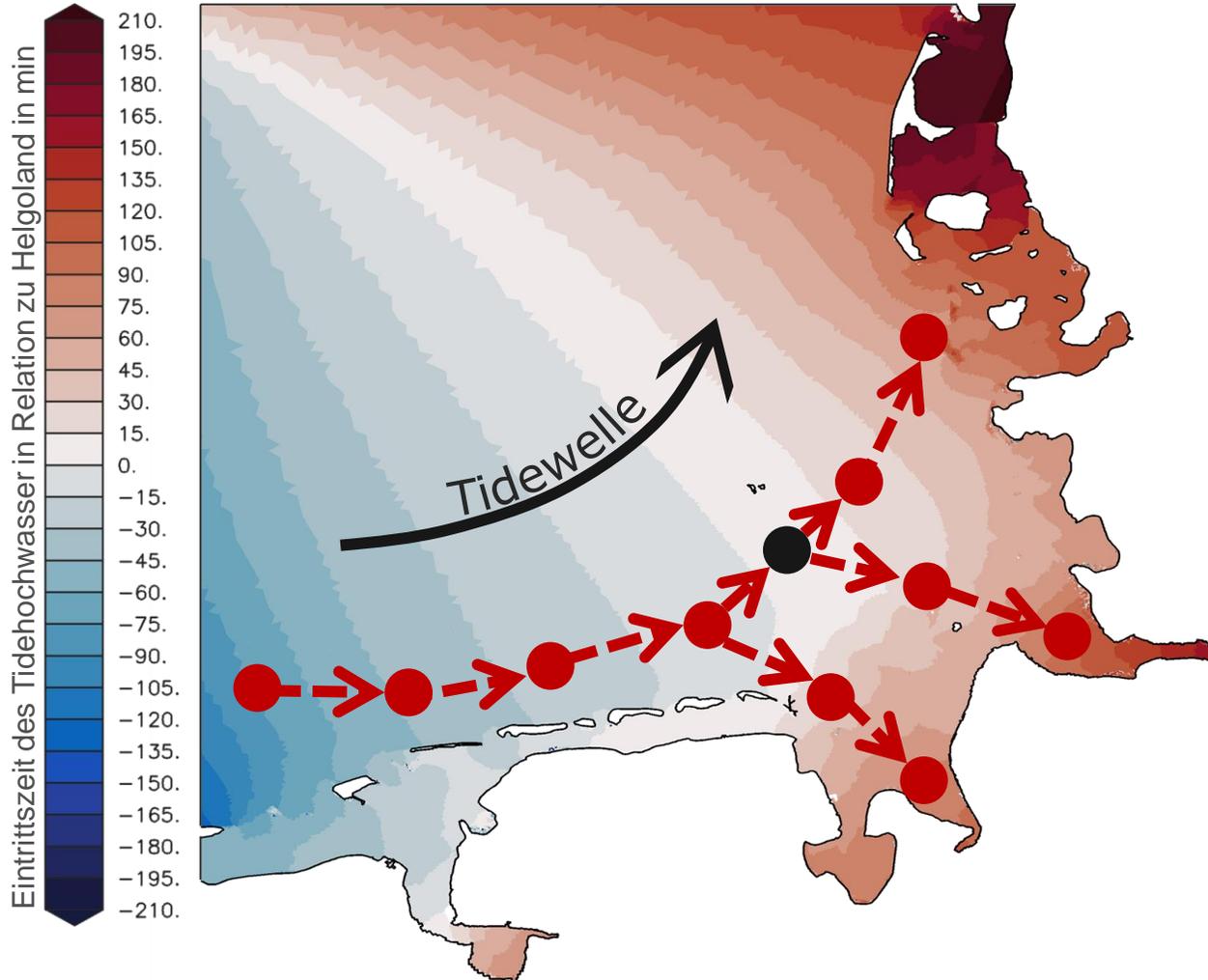
Tidekennwertanalyse des Wasserstandes

50% Quantil des Tidehubs 2014



Hintergrund aus TopWebPlus (Kartendienst des BKG www.bkg.de)

Hintergrund aus TopWebPlus (Kartendienst des BKG www.bkg.de)



Beispielhafte, vereinfachte Referenzpositionen für eine Tidekennwerteanalyse in der Deutschen Bucht

Langzeitkennwertanalyse:

- Kennwerte über den gesamten Analysezeitraum

Harmonische Analyse:

- Partialtidenanalyse

Tidekennwertanalyse:

- Bestimmung der Tiden im Gesamtgebiet über Referenzpositionen
- Für jede Tide Berechnung von Tidekennwerte
- Für den Analysezeitraum werden Quantile, Extrem- und Mittelwerte berechnet

Weiter Informationen unter:

https://wiki.baw.de/de/index.php/Analyse_der_Berechnungsergebnisse



Langzeitkennwertanalyse:

- Im Gegensatz zur Tidekennwertanalyse werden bei der Langzeitkennwertanalyse Berechnungen über den gesamten Analysezeitraum (hier 1 Jahr) durchgeführt.

Harmonische Analyse:

- Partialtidenanalyse des Wasserstandes der in der Deutschen Bucht dominaten M2-Partialtide.

Tidekennwertanalyse:

- Der Tideverlauf innerhalb des Untersuchungsgebietes wird bestimmt, indem die Tideinformation über Referenzpositionen weitergegeben wird, damit kann eine Tideereignis (z.B. Tidhochwasser) im gesamten Gebiet der gleichen Tide zugewiesen werden
- Für jede der vorher bestimmten Tide findet eine Berechnung der Tidekennwerte statt
- Aus den Tidekennwerte der Einzeltiden werden für den Analysezeitraum Quantile, Extrem- und Mittelwerte berechnet

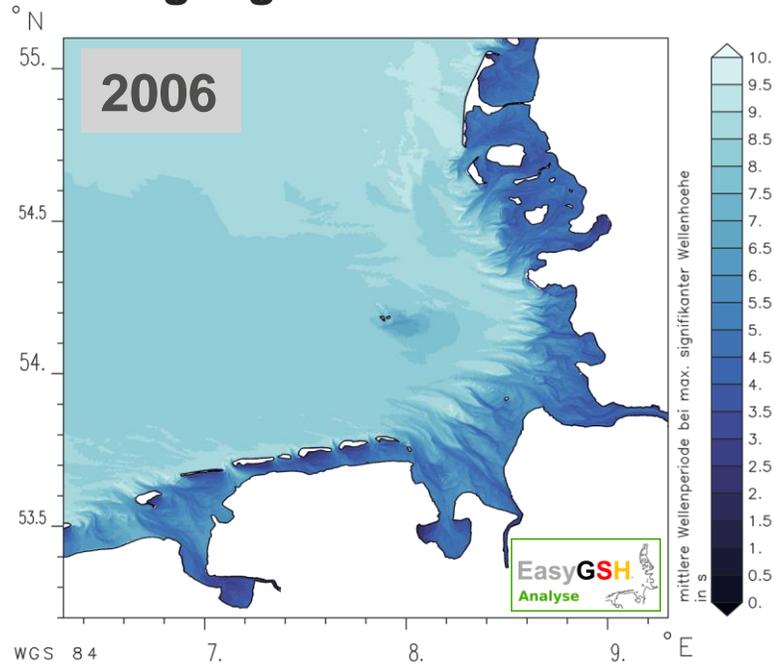
Beispielhafte vereinfachte Referenzpositionen für eine Tidekennwerteanalyse in der Deutschen Bucht

Weiter Informationen unter:

https://wiki.baw.de/de/index.php/Analyse_der_Berechnungsergebnisse

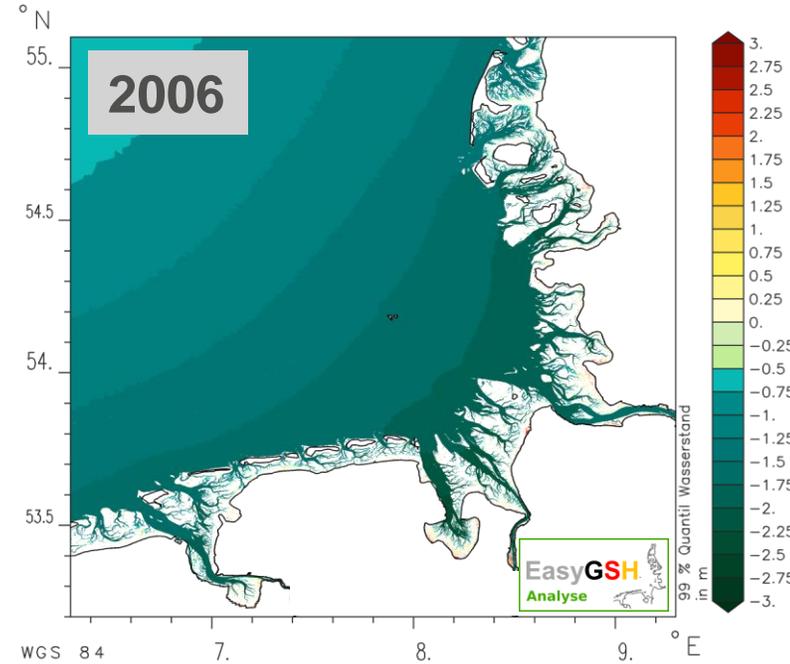


Langzeitkennwerte des Seegangs



Mittlere Wellenperiode bei maximaler signifikanter Wellenhöhe
in s

Langzeitkennwerte des Wasserstandes

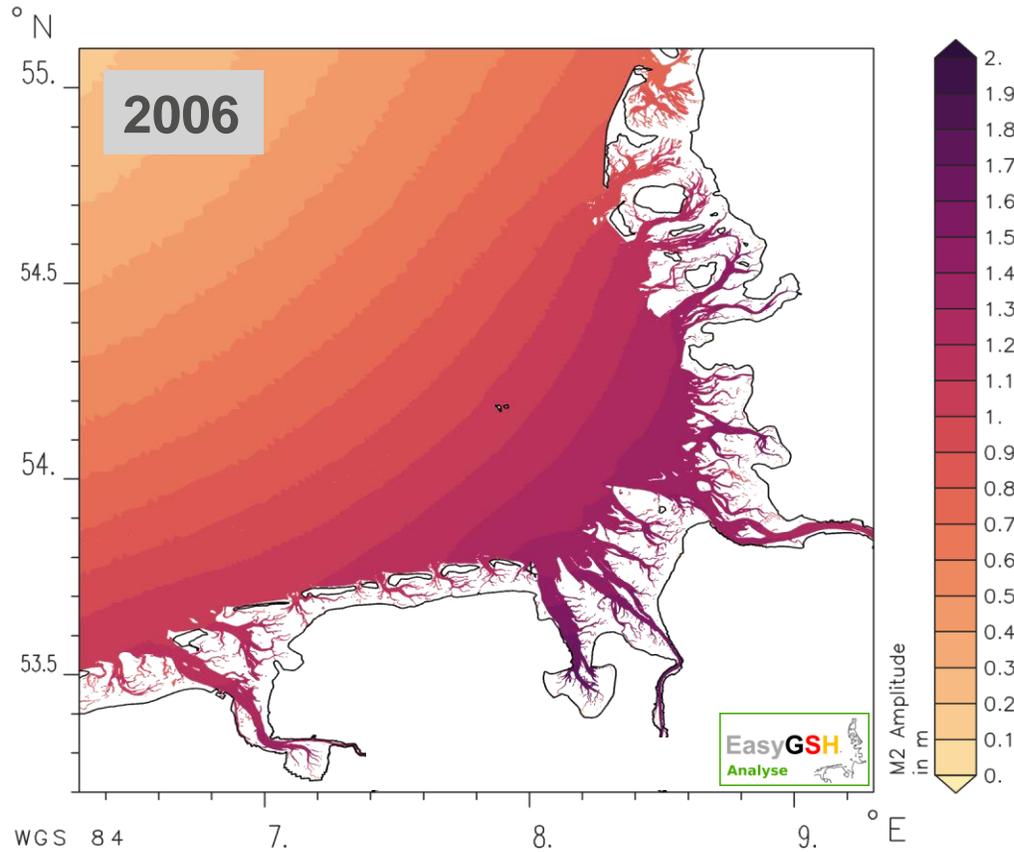


99% Quantil des Wasserstandes
in m

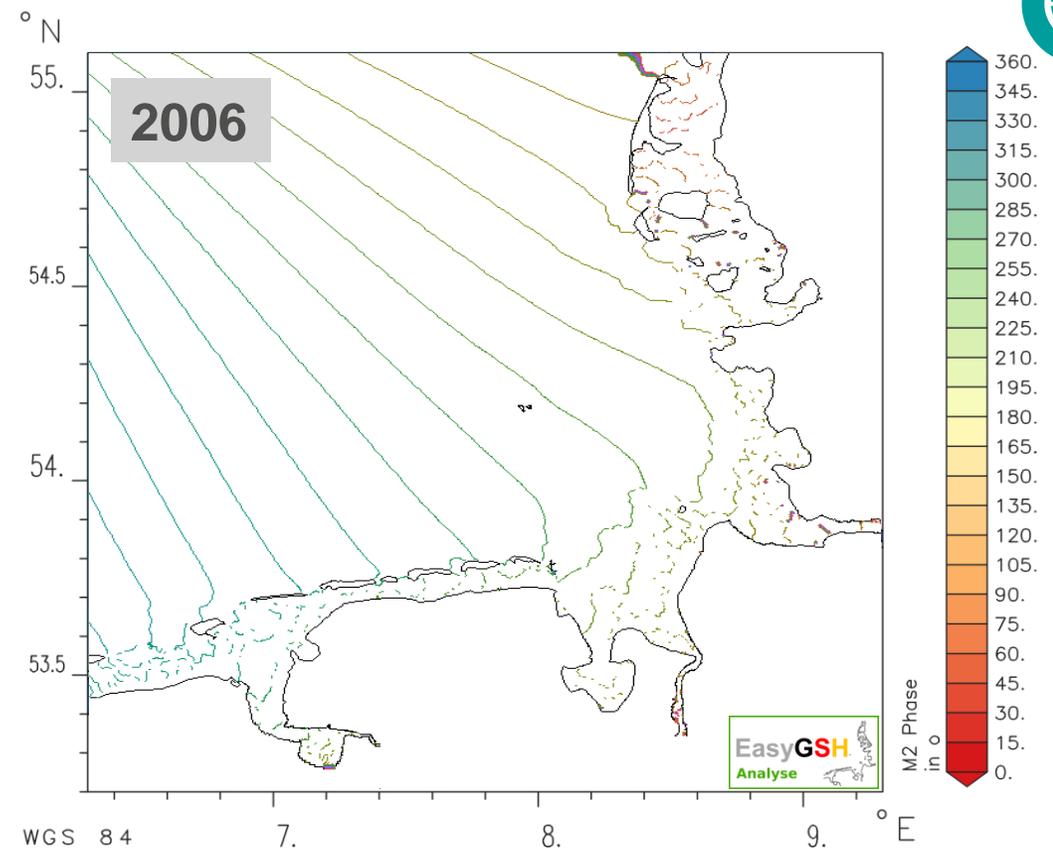
Weitere Größen:



- 1% Quantil des Wasserstandes
- 1% Quantil des Salzgehaltes
- 99% Quantil des Salzgehaltes
- 50% Quantil der signifikanten Wellenhöhe
- 95% Quantil der signifikanten Wellenhöhe
- 99% Quantil der signifikanten Wellenhöhe
- Maximale signifikante Wellenhöhe



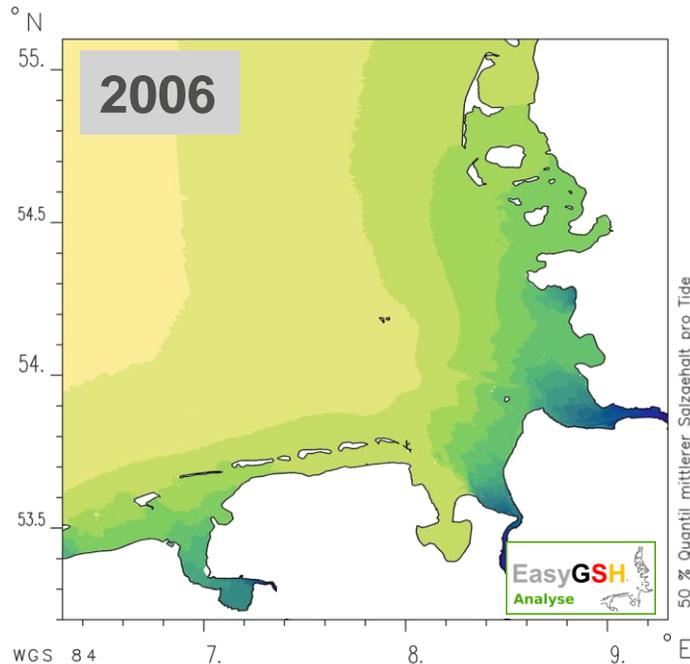
M2 Amplitude in m



M2 Phase in ° als Isolinen

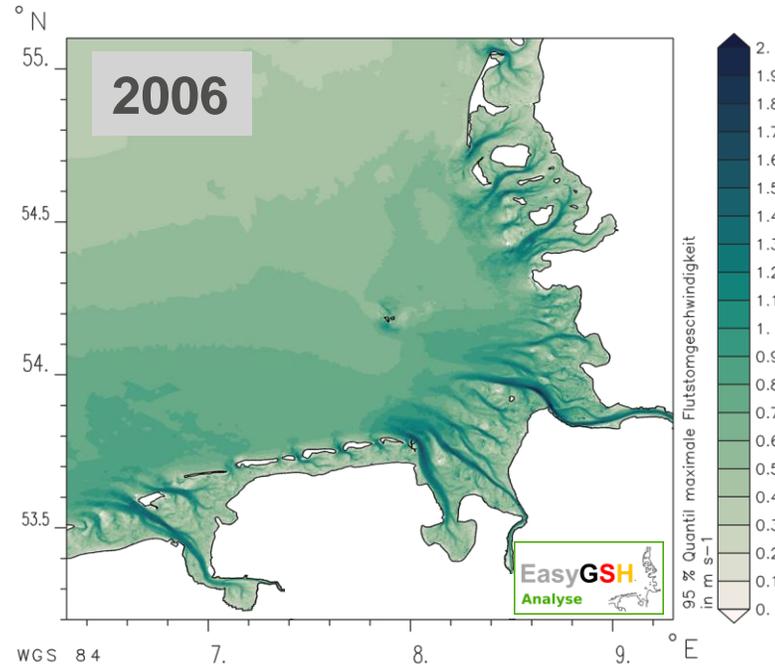


Tidekennwerte des Salzgehalt



50 % Quantil des Salzgehaltes pro Tide in 10^{-3}

Tidekennwerte der Strömung



95% Quantil der maximalen Flutstromgeschwindigkeit in $m s^{-1}$

Weitere Größen:

- 5, 50 und 95 % Quantil des Tidehoch-, Tideniedrigwasser
- 5, 50 und 95 % Quantil des Tidehubs
- 50% Quantil des Tidemittelwassers
- 5, 50 und 95 % Quantil der maximalen Flut- und Ebbestromgeschwindigkeit
- Mittlere Flut- und Ebbestromgeschwindigkeit
- 5, 50 und 95 % Quantil des mittleren Salzgehaltes pro Tide
- 50 und 95 % Quantil der maximalen effektiven Bodenschubspannung
- Mittlere effektive Bodenschubspannung

Variation des Tideniedrigwassers über 20 Jahren in der Jade-Weser

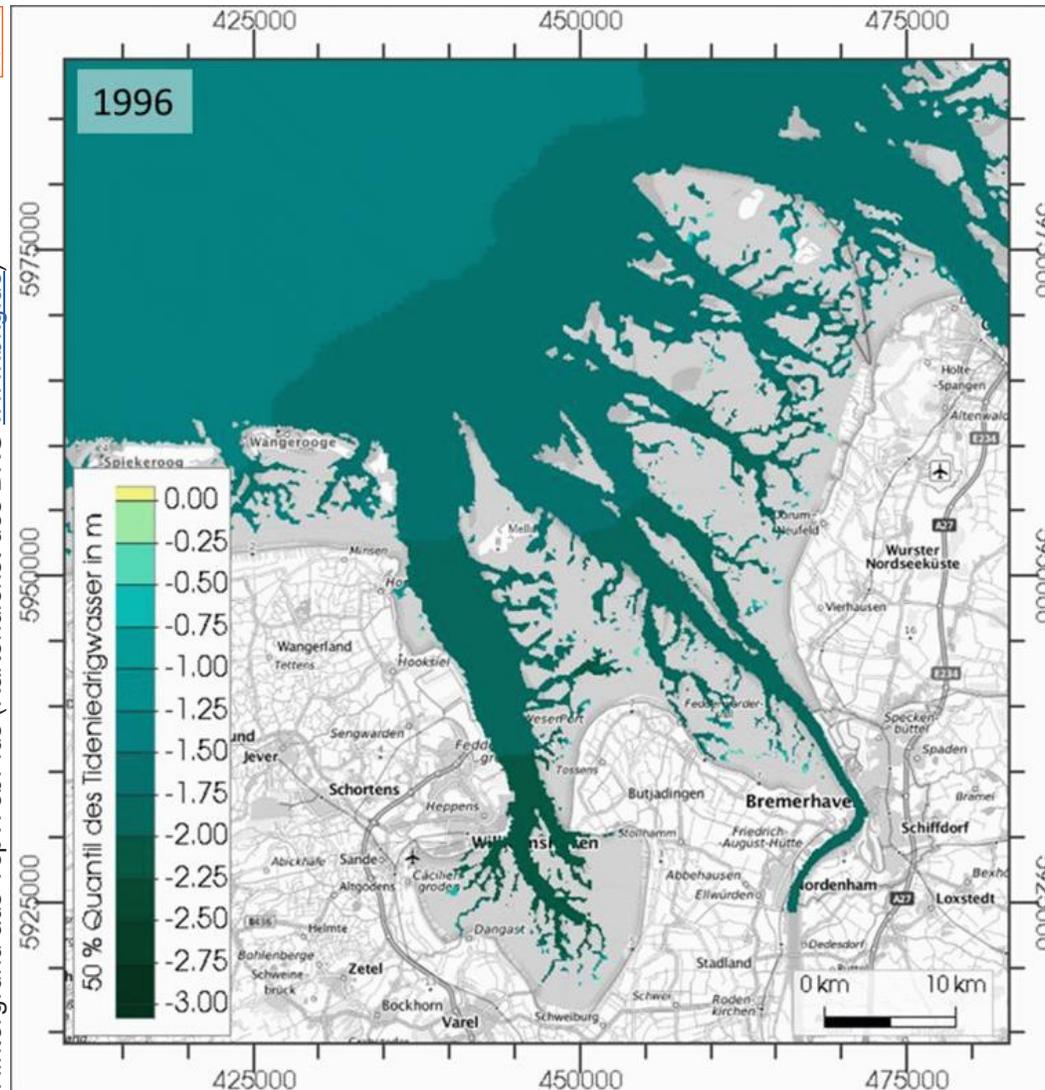


Hinweis:

In der Originalpräsentation ist hier die Variation des Tideniedrigwassers über 20 Jahre zu sehen.

Diese Animation findet sich [hier](#).

Hintergrund aus TopWebPlus (Kartendienst des BKG www.bkg.de)



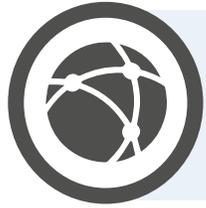


Quelle: www.gibbons.de

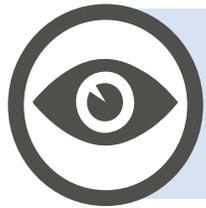
Zusammenfassung

aus der EasyGSH-DB Modellierung und Analyse
Abschlussveranstaltung

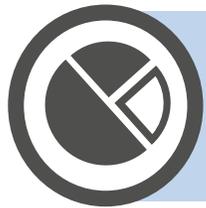
Hamburg, 17.03.2020



20 Jahre Hydrodynamik zum Download **verfügbar**



Validierter und **qualitätsgesicherter** Datensatz



Flächenhafte Kennwerte werden bereitgestellt



Formate: **Shape**, **GeoTIFF**, **NetCDF** und **csv**



Ende

EasyGSH-DB Abschlussveranstaltung

Bild: EasyGSH-DB Jahresbathymetrie 2014



www.easygsh-db.org
Kontakt: easygsh@baw.de