

Dirk Fleischer, TU Dresden - University of Technology
Simon Beckmann, Hochschule RheinMain
Jürgen Stamm, TU Dresden - University of Technology
Arne Arns, Hochschule RheinMain

ResCAD: **Resistance** and **Climate** **Adaption** in **Dune** Systems

Zusammenfassung Projektergebnisse – 29. KFKI-Seminar

Hamburg, 18.11.2025

Gefördert durch:



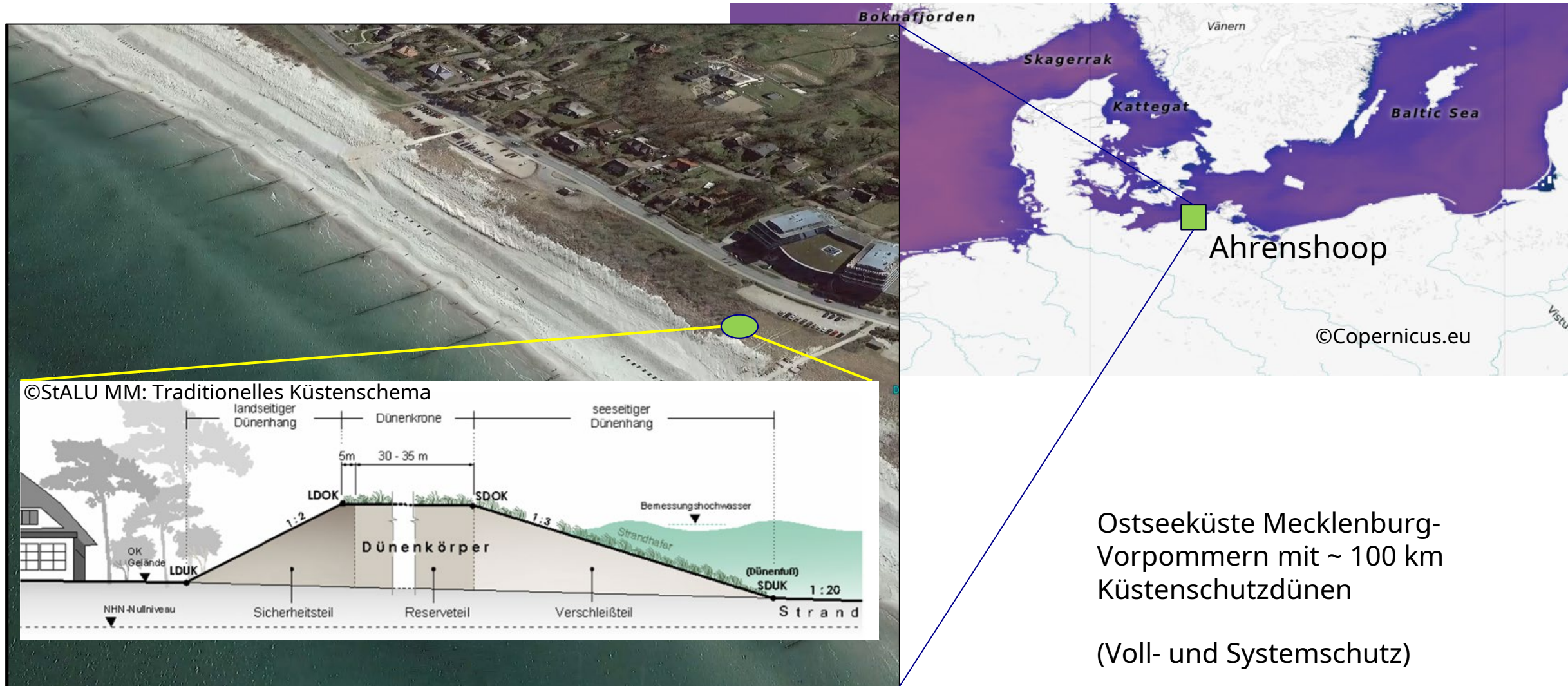
Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



Kuratorium für Forschung
im Küsteningenieurwesen



Im Fokus: Küstenschutzdünen der Südwestlichen Ostsee

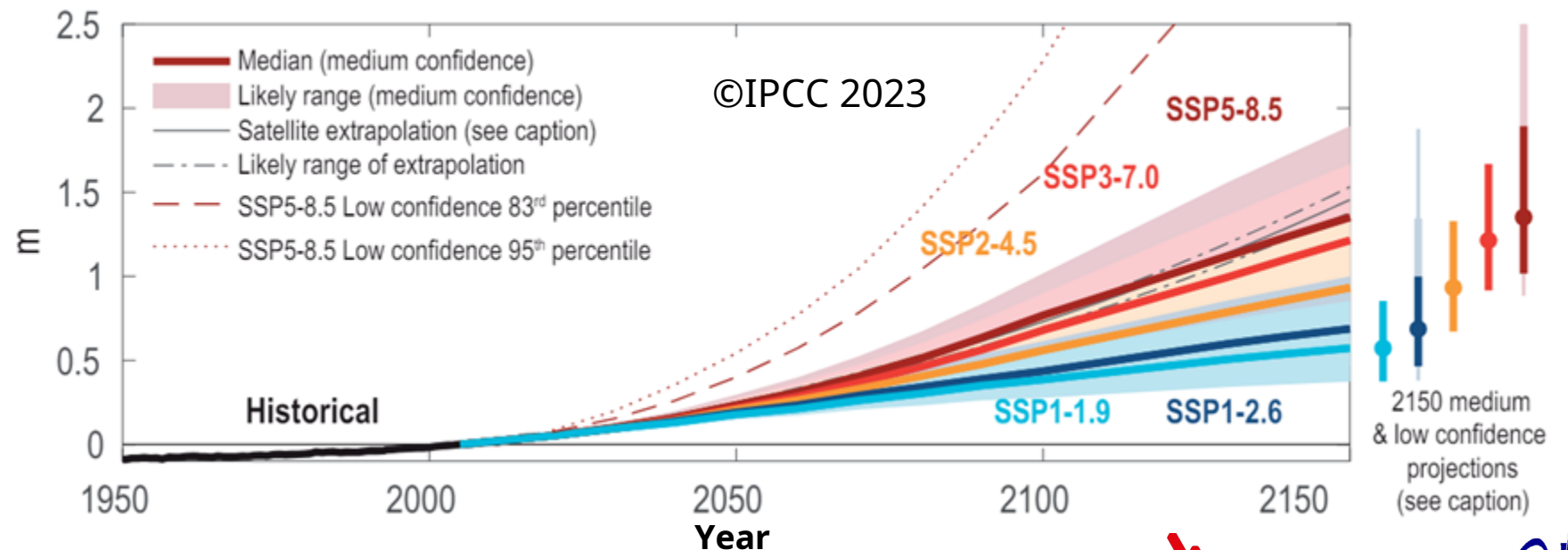


Problembeschreibung: Komplexe hydraulische Einwirkungen und Meeresspiegelanstieg

Welleneinwirkung
& Windstau



Steigende
Meeresspiegel



Bemessungspraxis: Reaktives Küstenmanagement

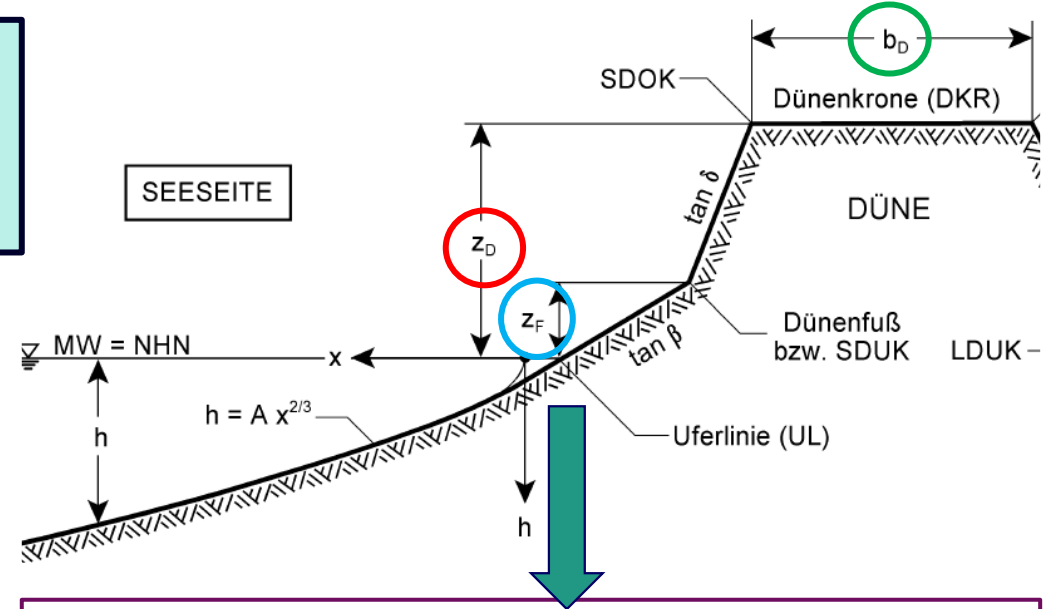
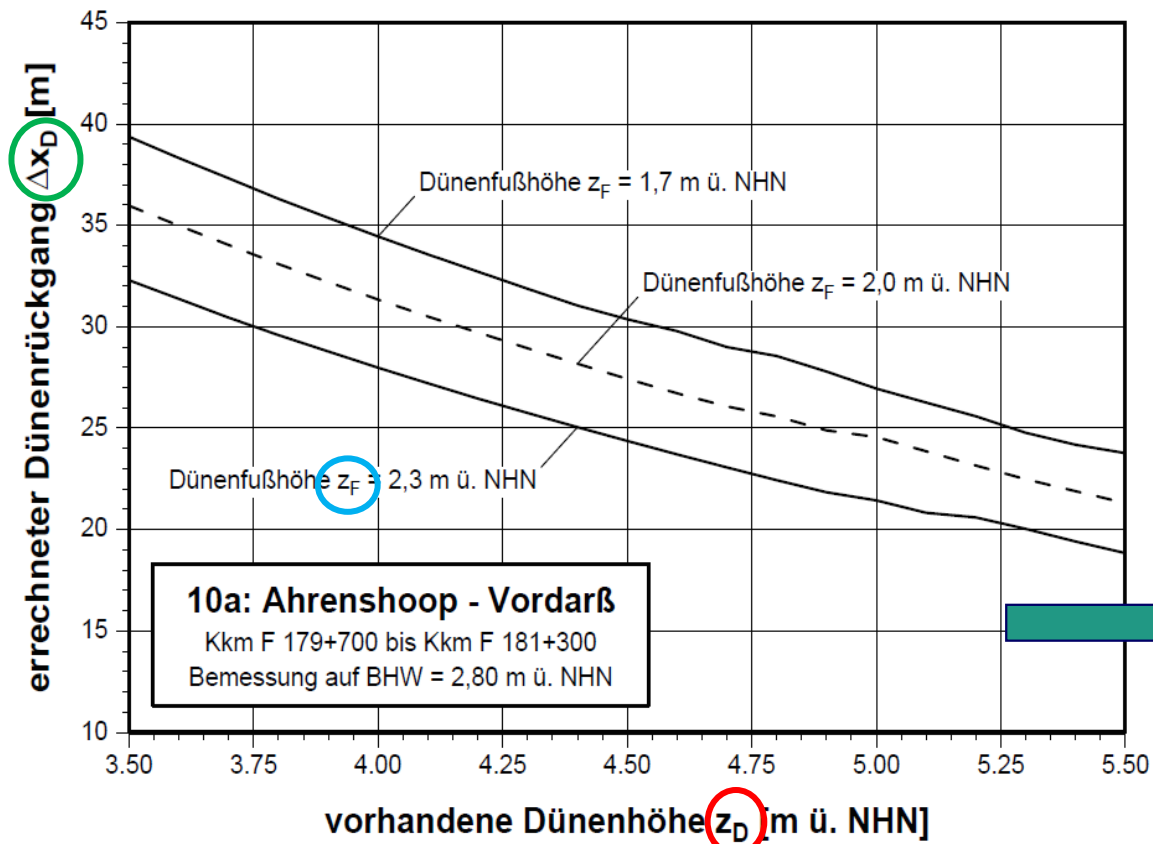
- Dünenregelprofile nach Neue
- Im Durchschnitt 500.000 m³ Sand für 4 Mio. €/Jahr zur Erhaltung aufgespült



©Dirk Fleischer (Prerow 2023, bisher größte Sandaufspülung)

Aktuelles Bemessungskonzept nach Newe (2013)

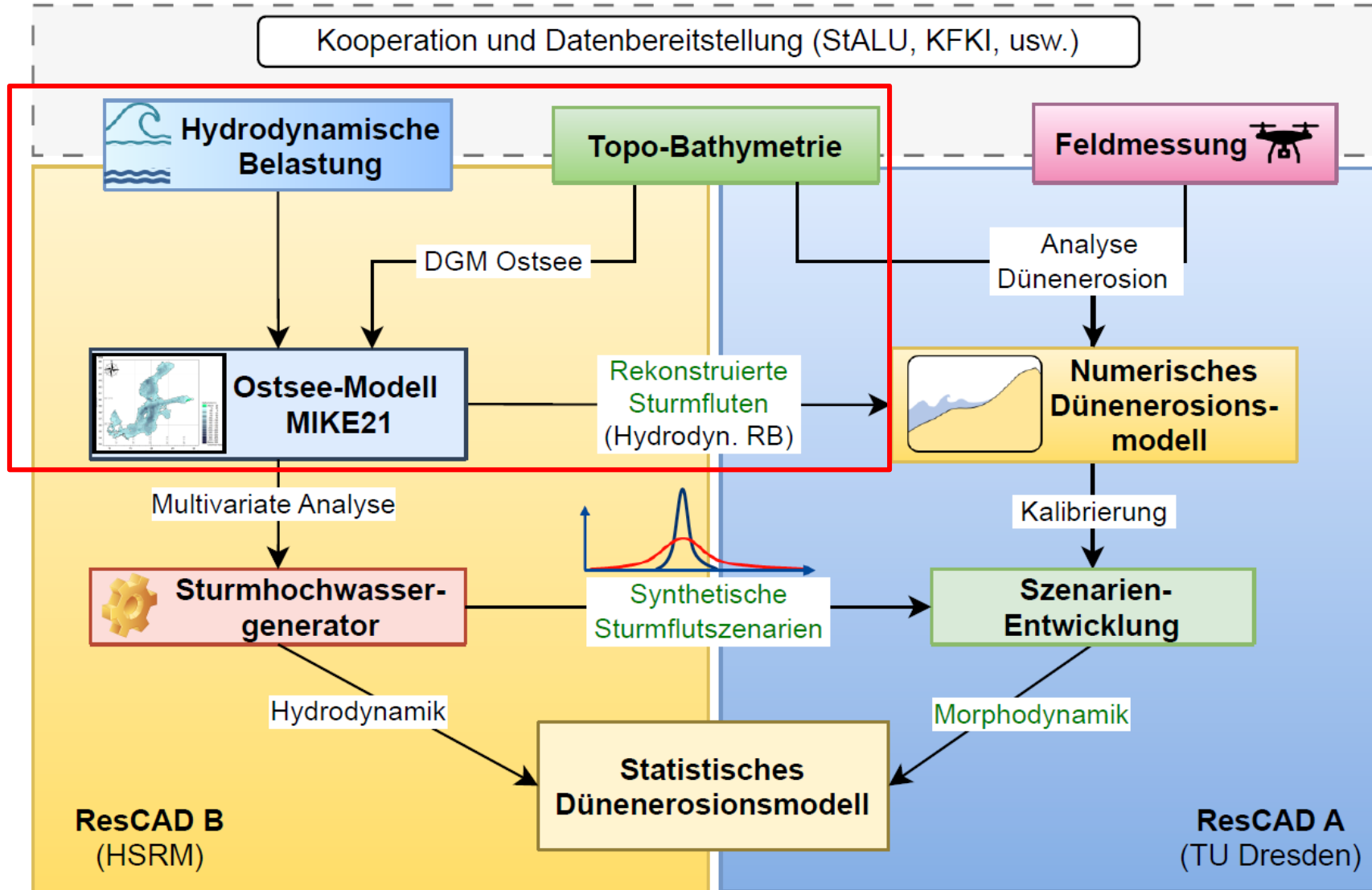
In **ResCAD** wurden deshalb *zeitgemäße Bemessungswerkzeuge* entwickelt und der Einfluss *steigender Meeresspiegel* untersucht!



- ✓ Vorhersage 1D-Dünen- und oberes Strandprofil
- ✓ Basierend auf SF-Ganglinien nach Salecker (2013)
- ✓ Ausgewählte Bemessungsturmflut (max. Erosion)
- ✓ Inklusive lokaler Trends des Erosionsvolumens

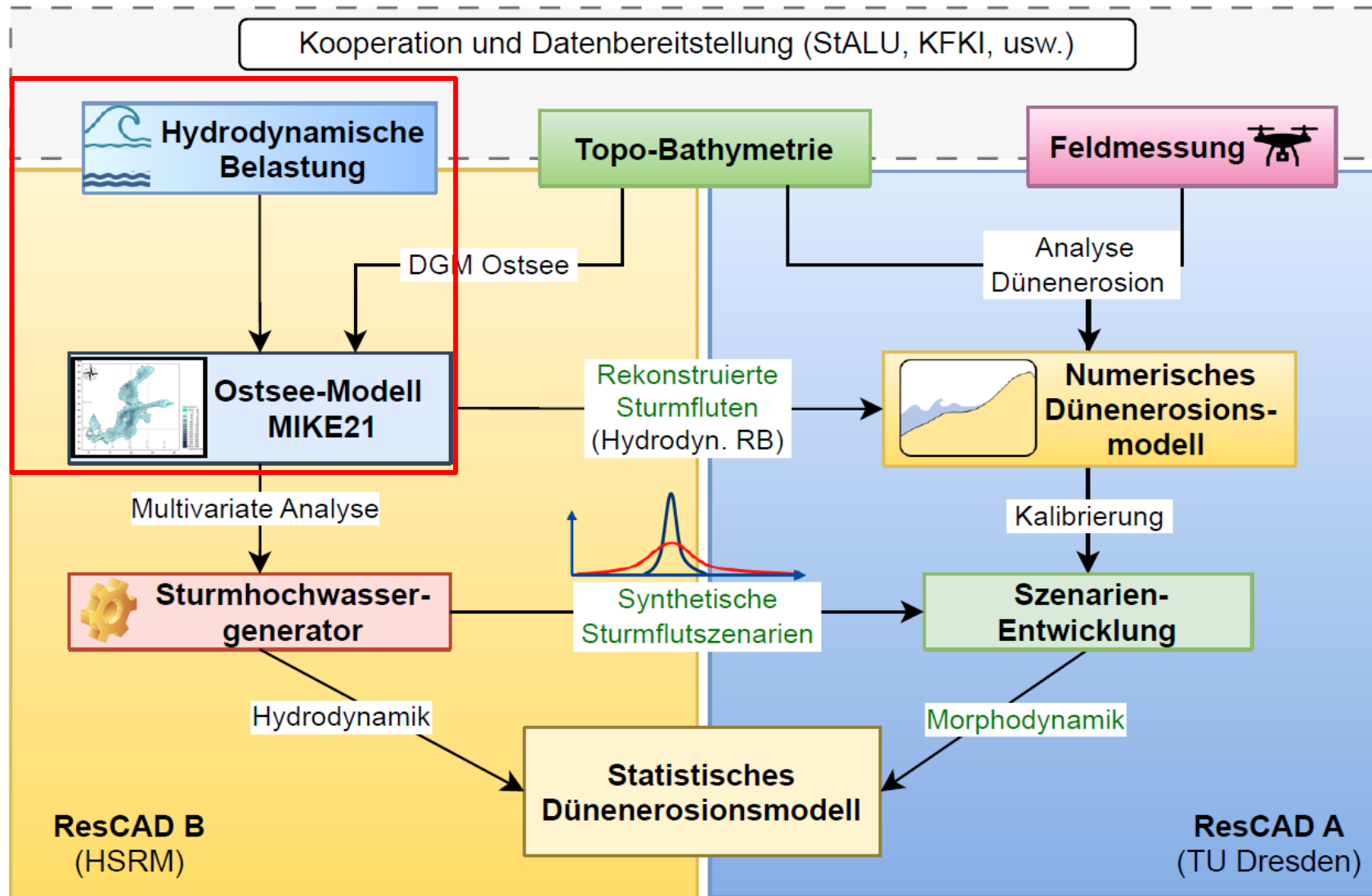
- ✗ Gleicher Korndurchmesser über >100km Dünen
- ✗ Einfache Funktion des Seegangs (prop. zum WSt)
- ✗ Idealisierte Unterwasser-Profile (nach Brunn)
- ✗ Kein Küstenlängstransport

Überblick über das Gesamtvorhaben: Struktur, Modellkette und Ziele



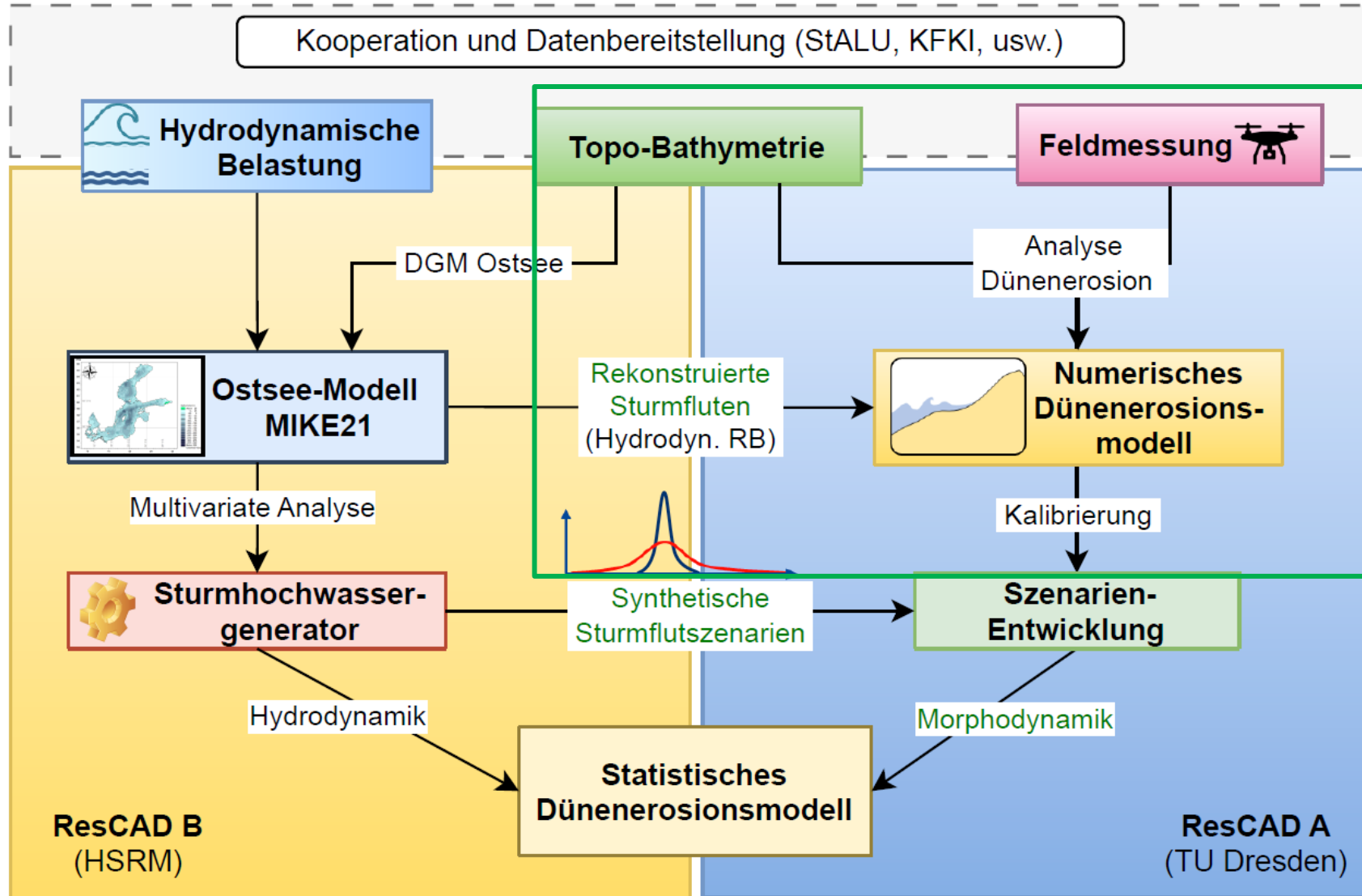
Hydrodynamisches Ostseemodell: Siehe Teil ResCAD B

Überblick über das Gesamtvorhaben: Sturmhochwassergenerator (ResCAD B)

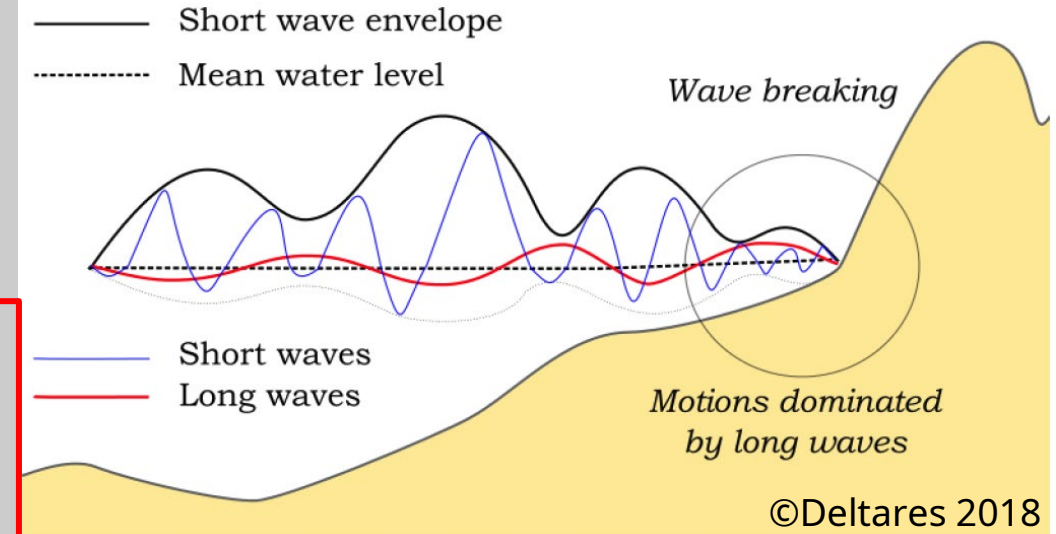
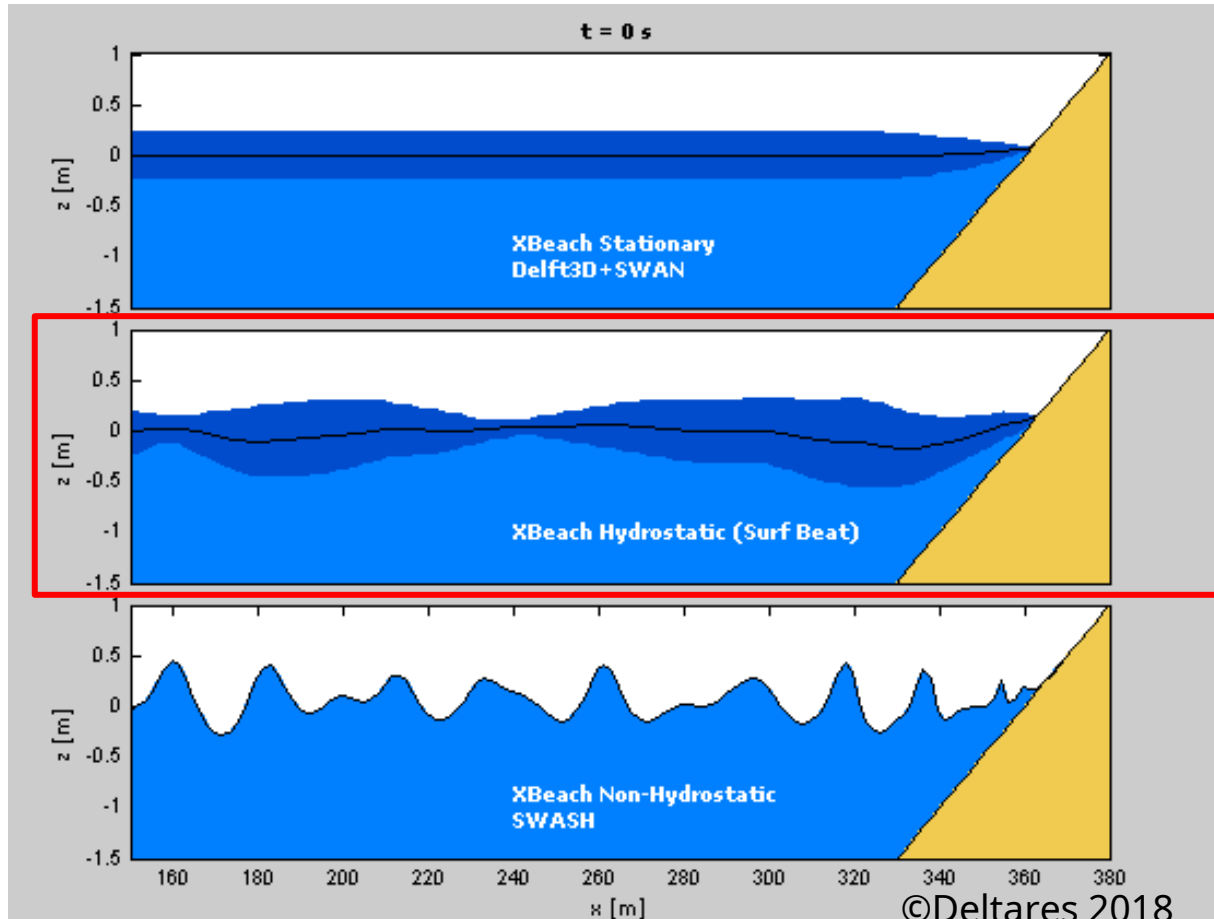


Sturmhochwassergenerator: Siehe Teil ResCAD B

Überblick über das Gesamtvorhaben: Numerisches Erosionsmodell (ResCAD A)



Numerisches Erosionsmodell: HMN-Simulation von Extremereignissen mit **XBeach**



*Relevante Prozesse im Surfbeat-Modus
(Wellengruppen und lange Wellen)*

Modellierte Auslenkung der Wasseroberfläche für verschiedene Wellenmodelle

Numerisches Erosionsmodell: Simulationsprogramm (Zusammenfassung)

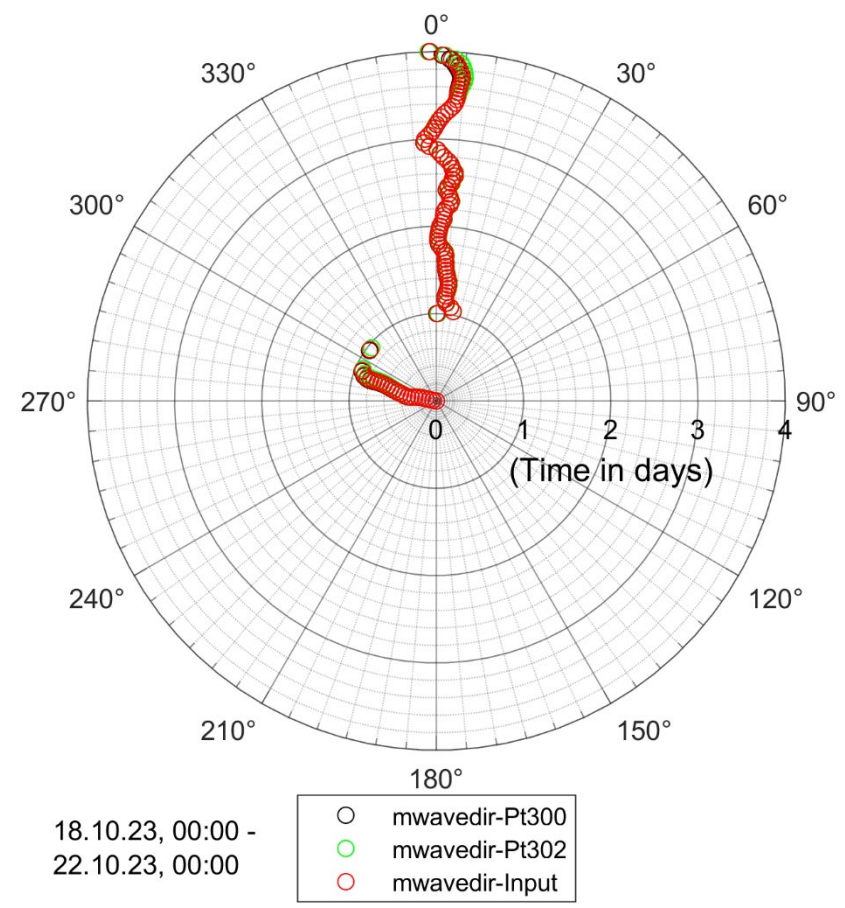
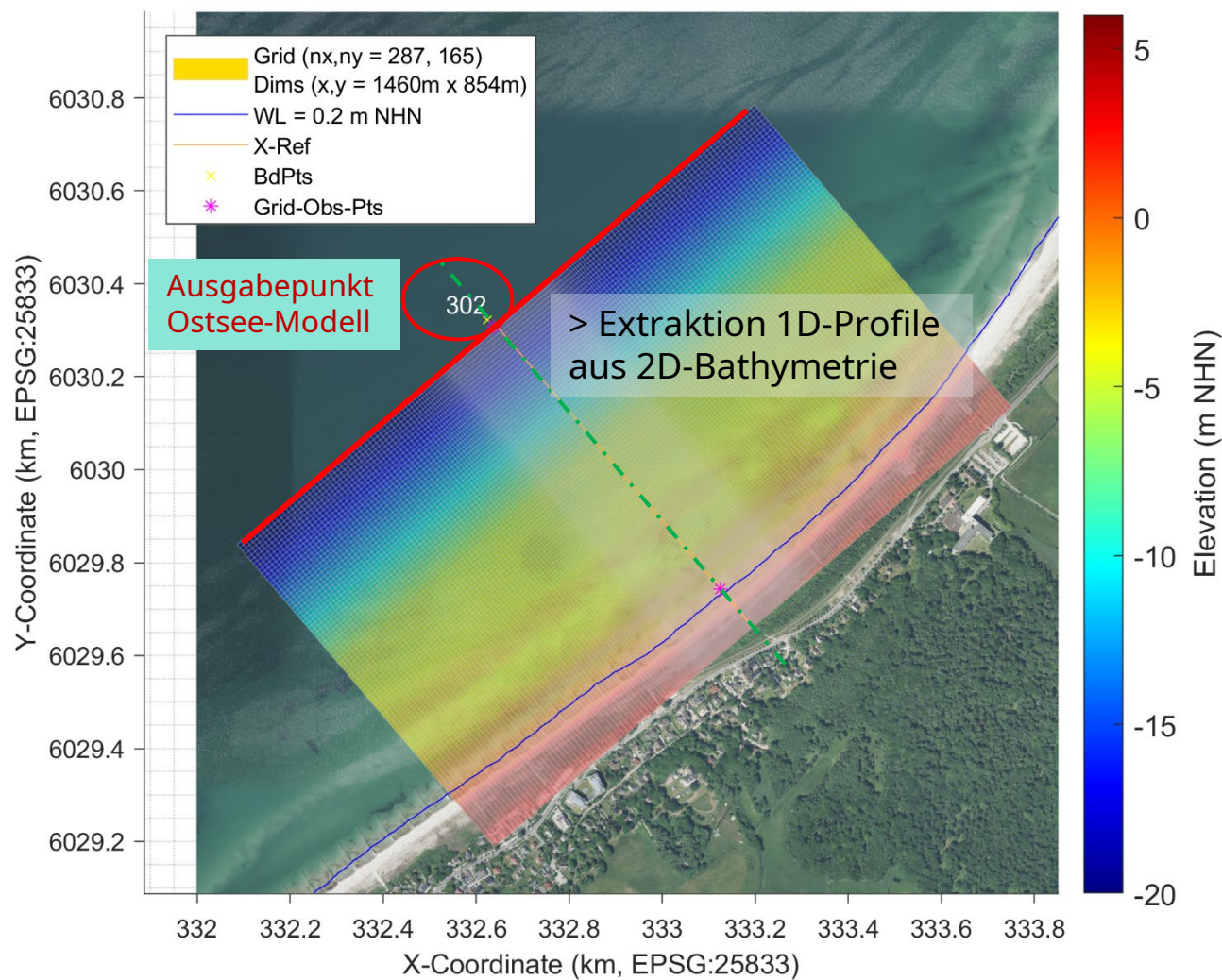
- | | | |
|--|--------------------|-----------------------|
| 1) Hindcast Sturmhochwasser Okt. 2023: | XBeach - 2D | (Kalibrierung) |
| 2) Szenarienanalyse für ResCAD B: XBeach - 2D | | |
| – Variierende Bemessungsereignisse RHW & BHW | | |
| – Klimazuschlag (+1 m) | | |
| 3) Hindcast Sturmhochwasser Okt. 2023: | XBeach - 1D | (Kalibrierung) |
| – Sensitivitätsstudie / Parameteranalyse | | |
| 4) Hindcast Sturmhochwasser Jan. 2019: | XBeach - 1D | (Validierung) |
| 5) Szenarienanalyse : XBeach - 1D | | |
| – RHW / Klimaszenarien mit $\Delta\text{MSL}(\text{SSPs}) \leq 0.80 \text{ m}$ | | |
| – Variationen Geometrie | | |
| – Methodik zur Ermittlung von Pessimprofilen | | |

KFKI-Seminar 2024

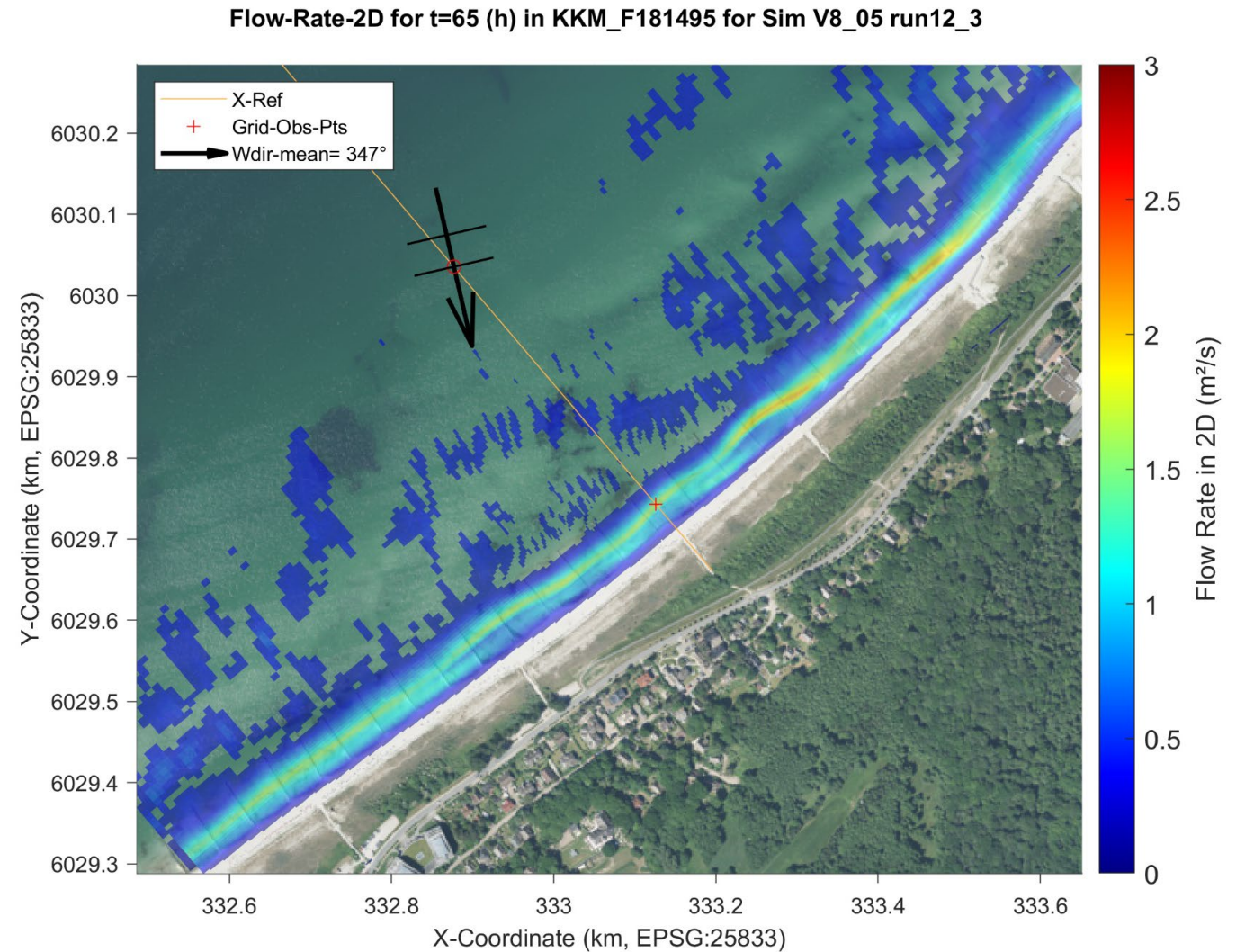


KFKI-Seminar 2025

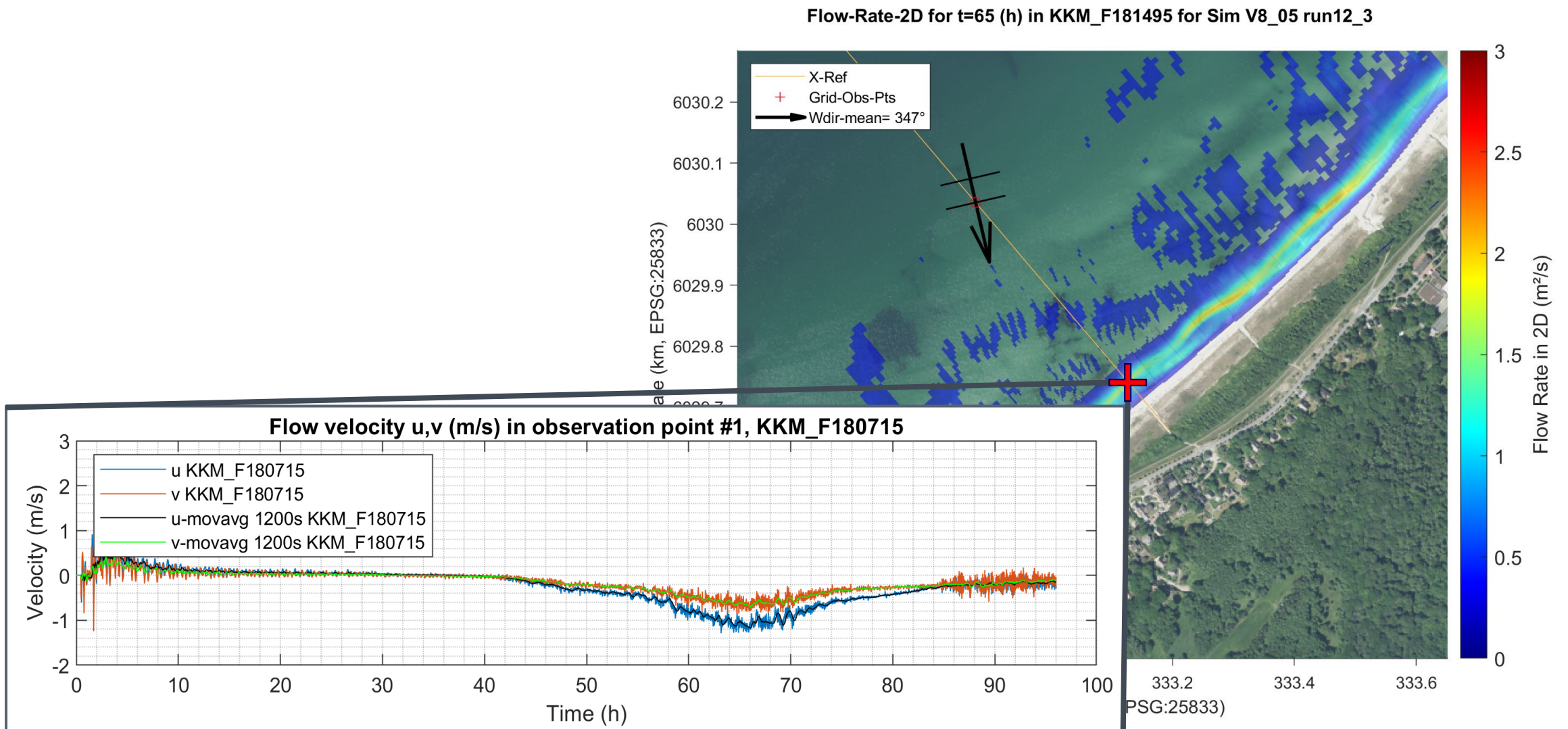
Numerisches Erosionsmodell 2D: Kalibrierung am Sturmhochwasser 20./21.10.2023



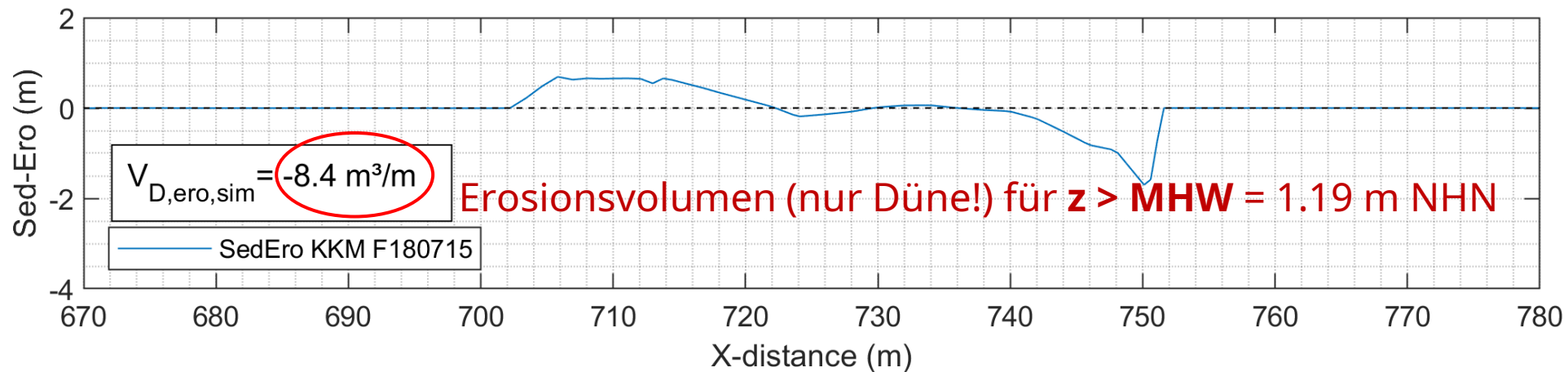
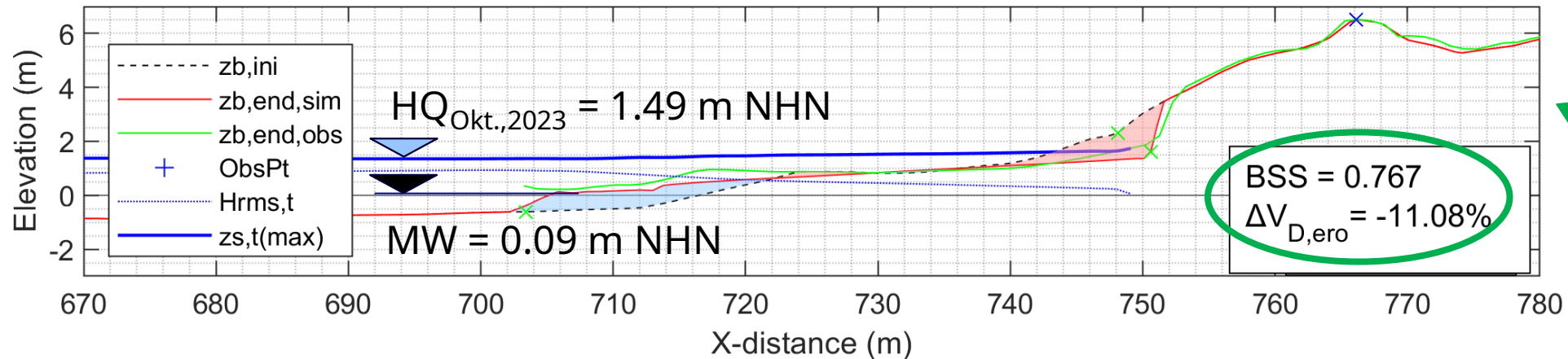
Numerisches Erosionsmodell 2D: Simulation komplexer Dynamik mit XBeach & MPI



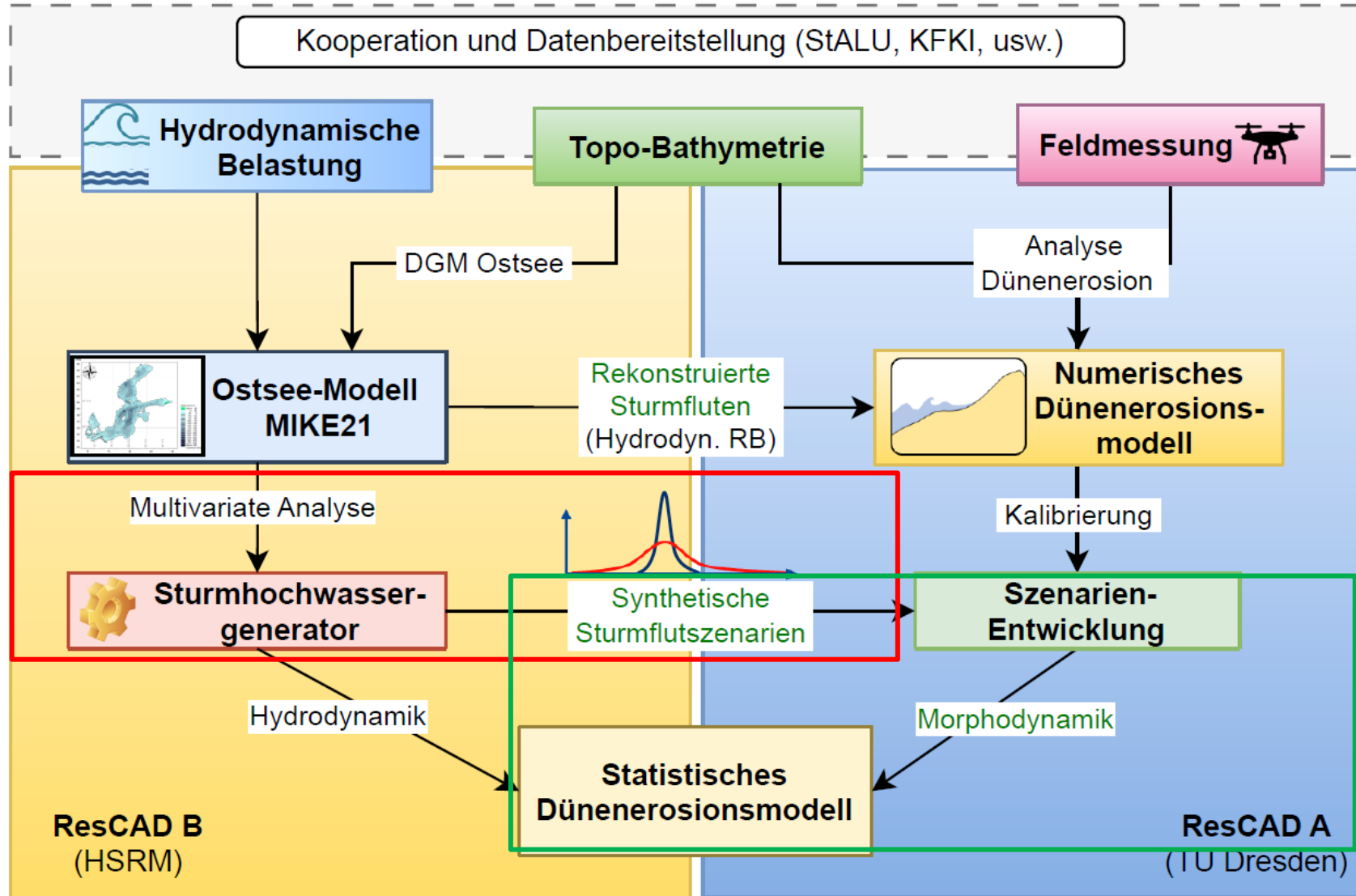
Numerisches Erosionsmodell 2D: Simulation komplexer Dynamik mit XBeach & MPI



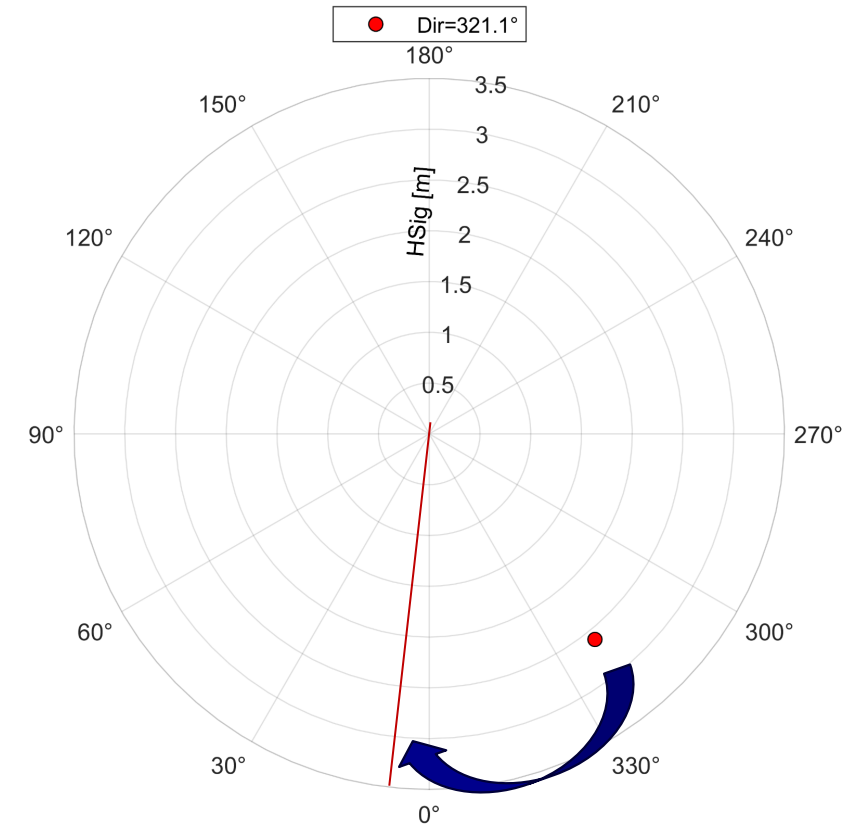
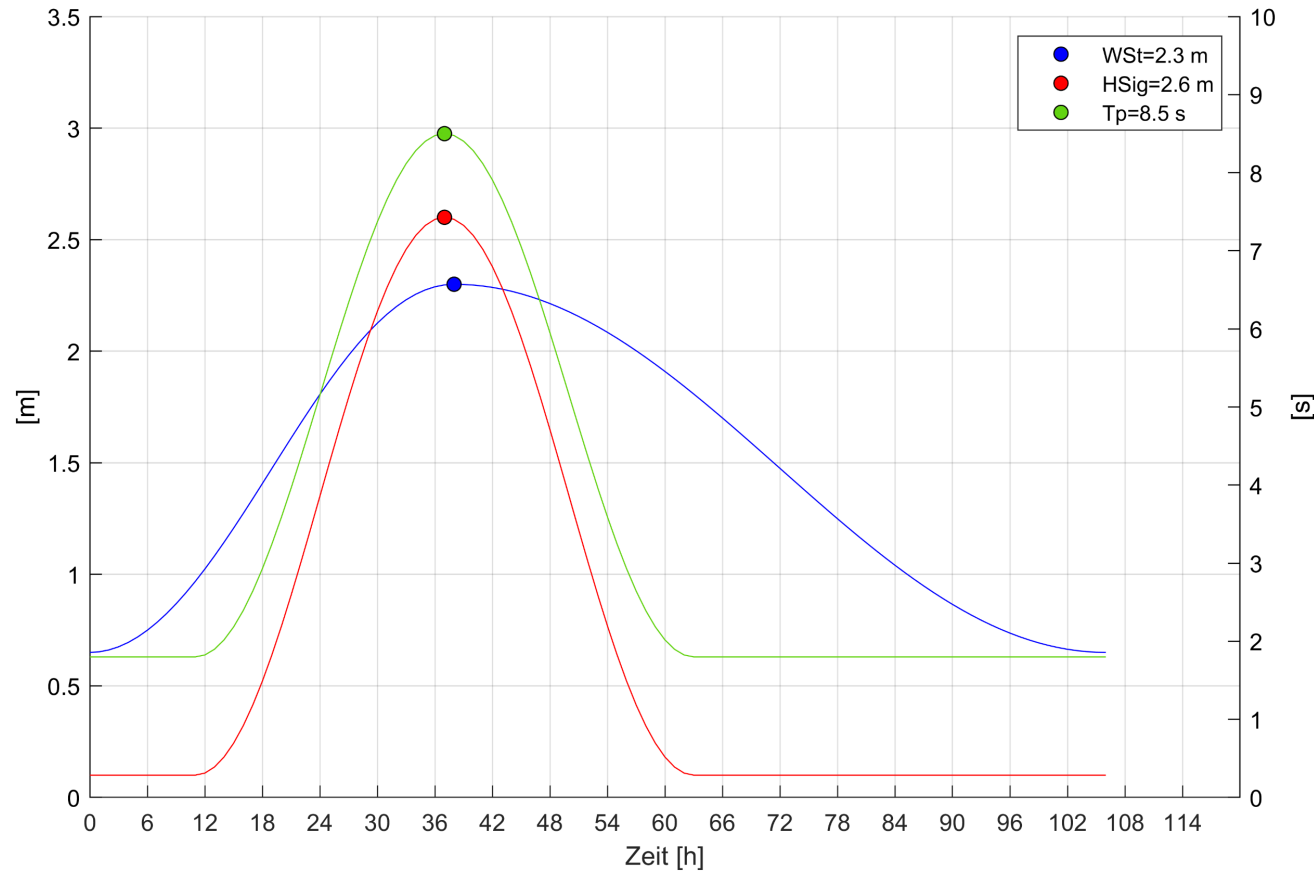
Numerisches Erosionsmodell 1D: Kalibrierung an Sturmhochwasser 20./21.10.2023



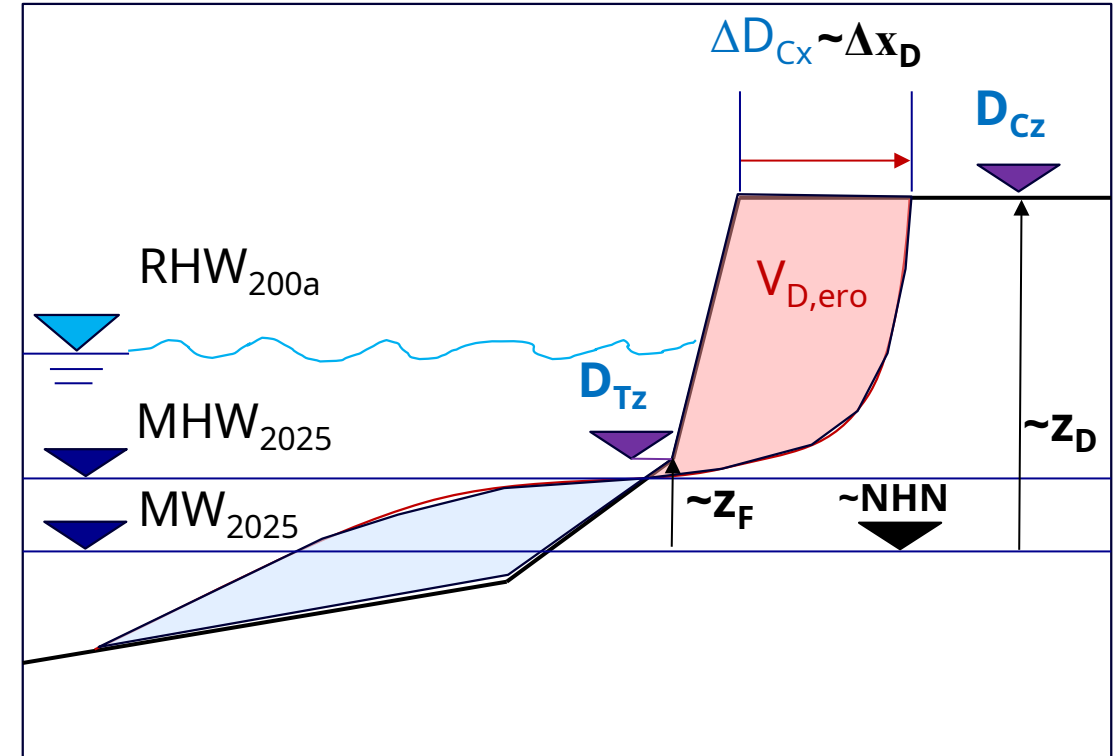
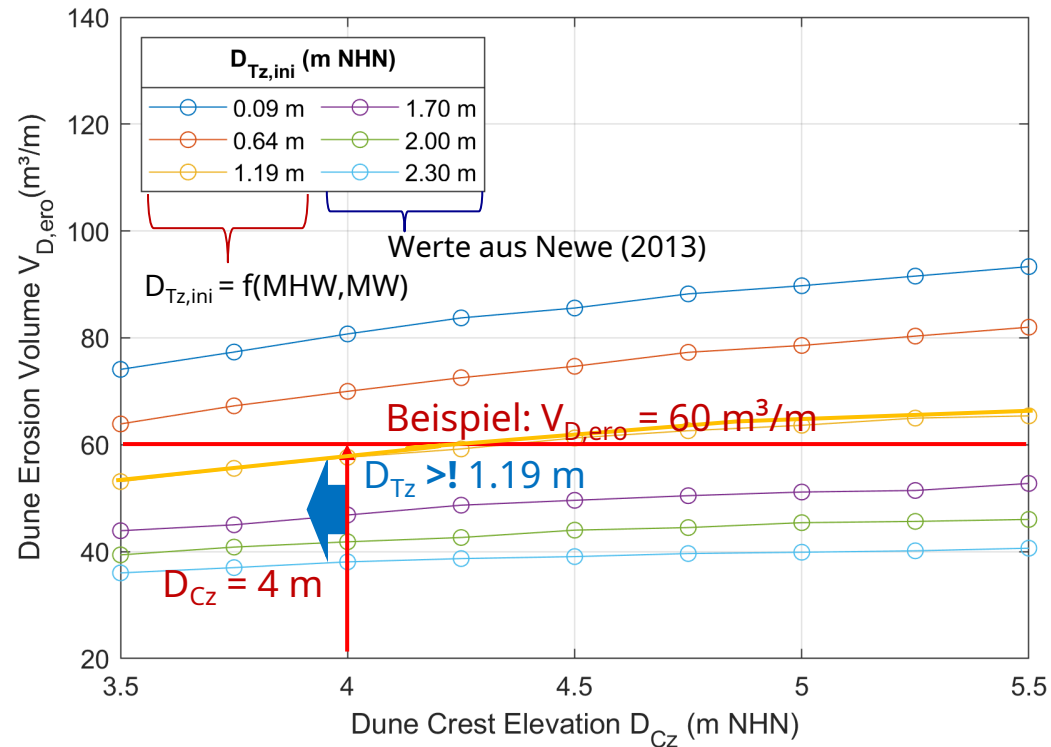
Überblick über das Gesamtvorhaben: Szenarienanalyse (ResCAD A)



Dünenbemessung mit XBeach: Ermittlung **Pessimalprofile** mit RHW (Bem.-Ereignis)

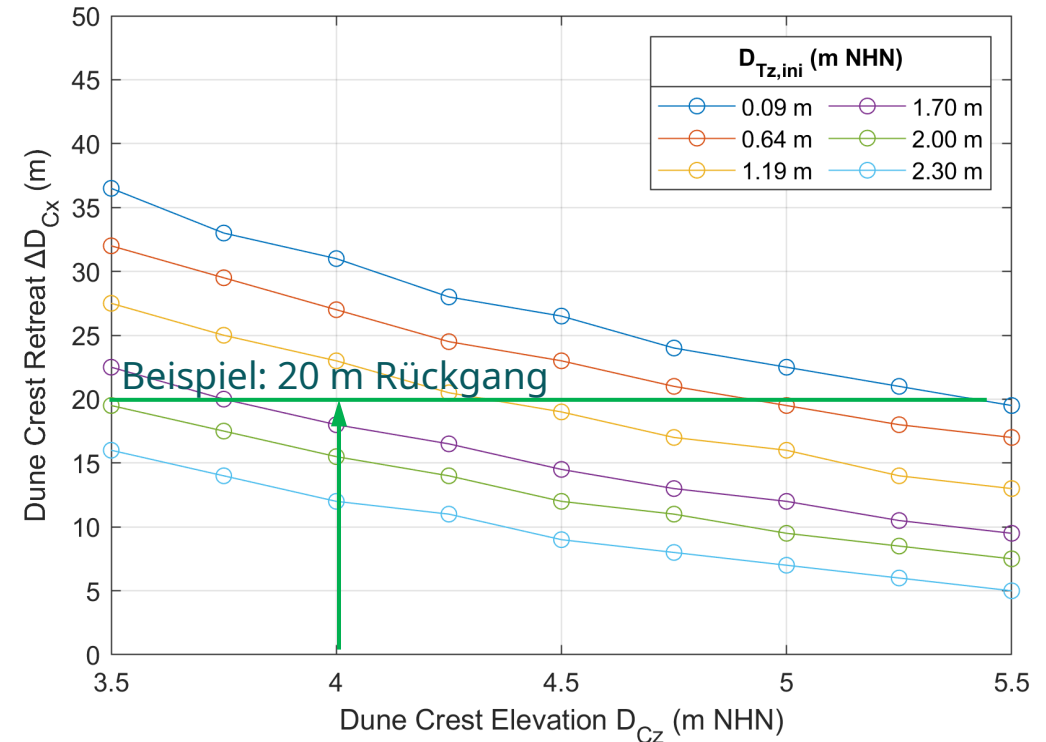
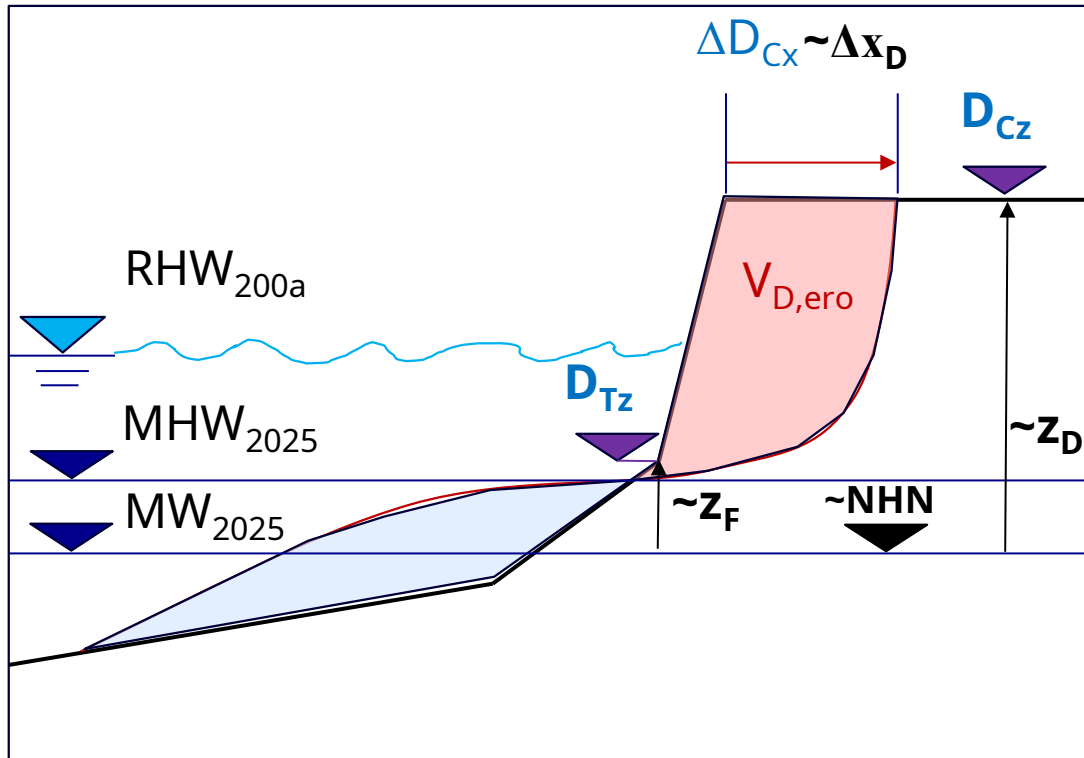


Dünenbemessung mit XBeach: Ermittlung **Pessimalprofile** mit RHW (Bem.-Ereignis)



1. Vorgabe **Höhe Dünenkrone** = D_{Cz} (max)
2. Vorgabe max. **Erosionsvolumen** $V_{D,ero}$ / max. **Rückgang der Dünenkrone** ΔD_{Cx}
3. Wahl **Höhe Dünenfußpunkt** vor Simulation = $D_{Tz,ini}$

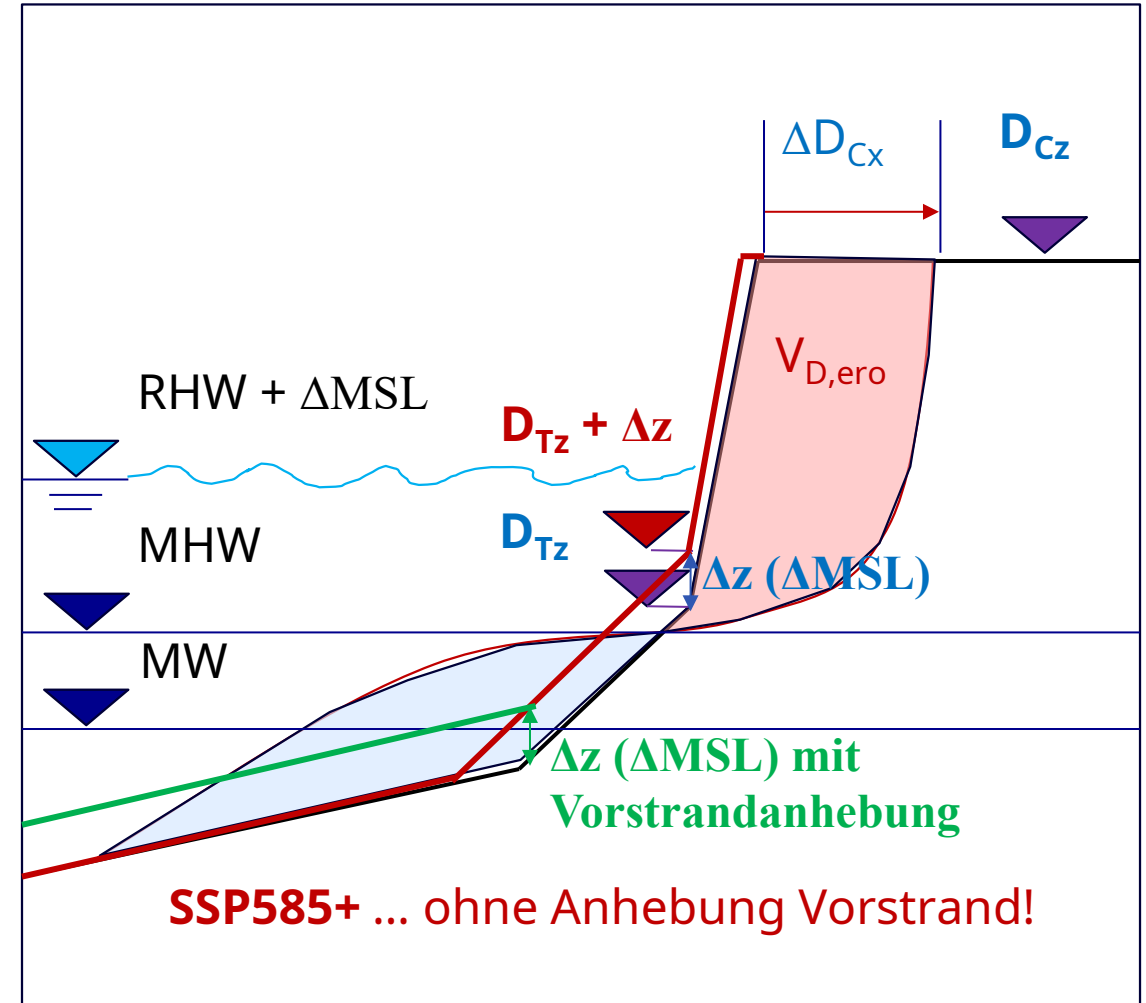
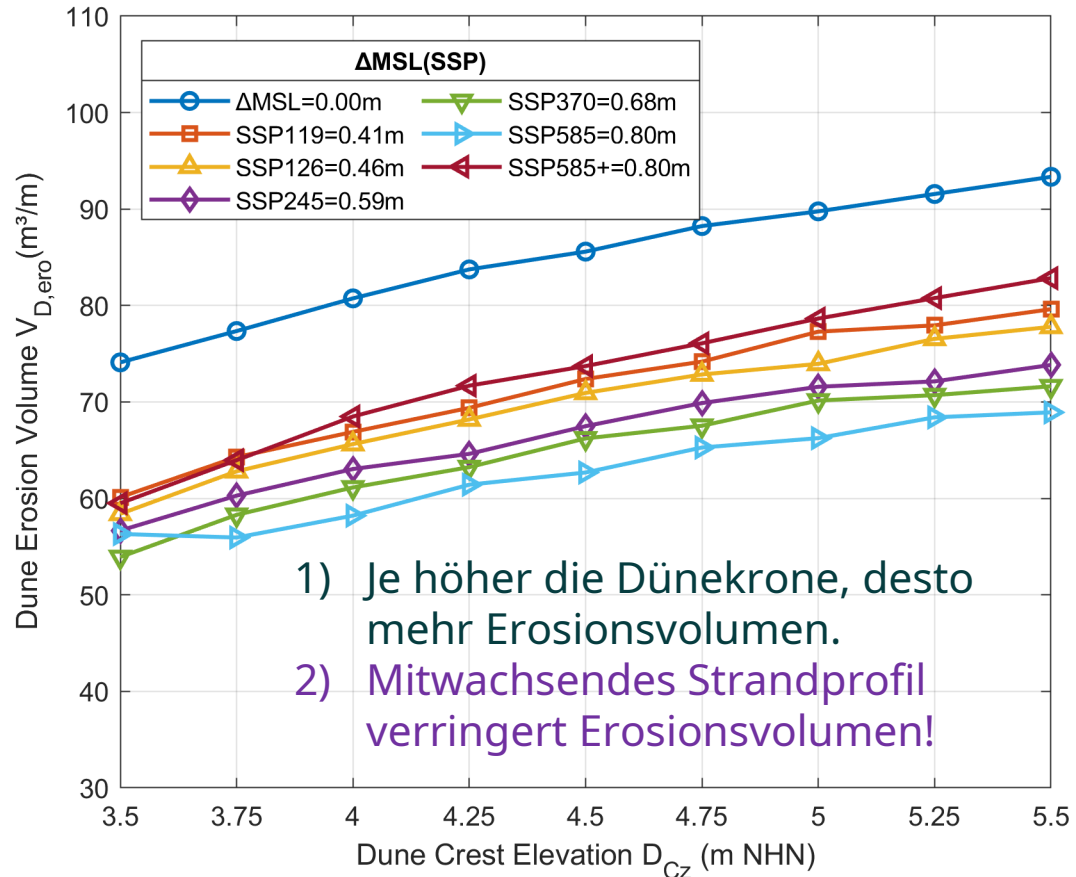
Dünenbemessung mit XBeach: Ermittlung **Pessimalprofile** mit RHW (Bem.-Ereignis)



1. Vorgabe **Höhe Dünenkrone** = D_{Cz} (max)
2. Vorgabe max. **Erosionsvolumen** $V_{D,ero}$ / max. **Rückgang der Dünenkrone** ΔD_{Cx}
3. Wahl **Höhe Dünenfußpunkt** vor Simulation = $D_{Tz,ini}$

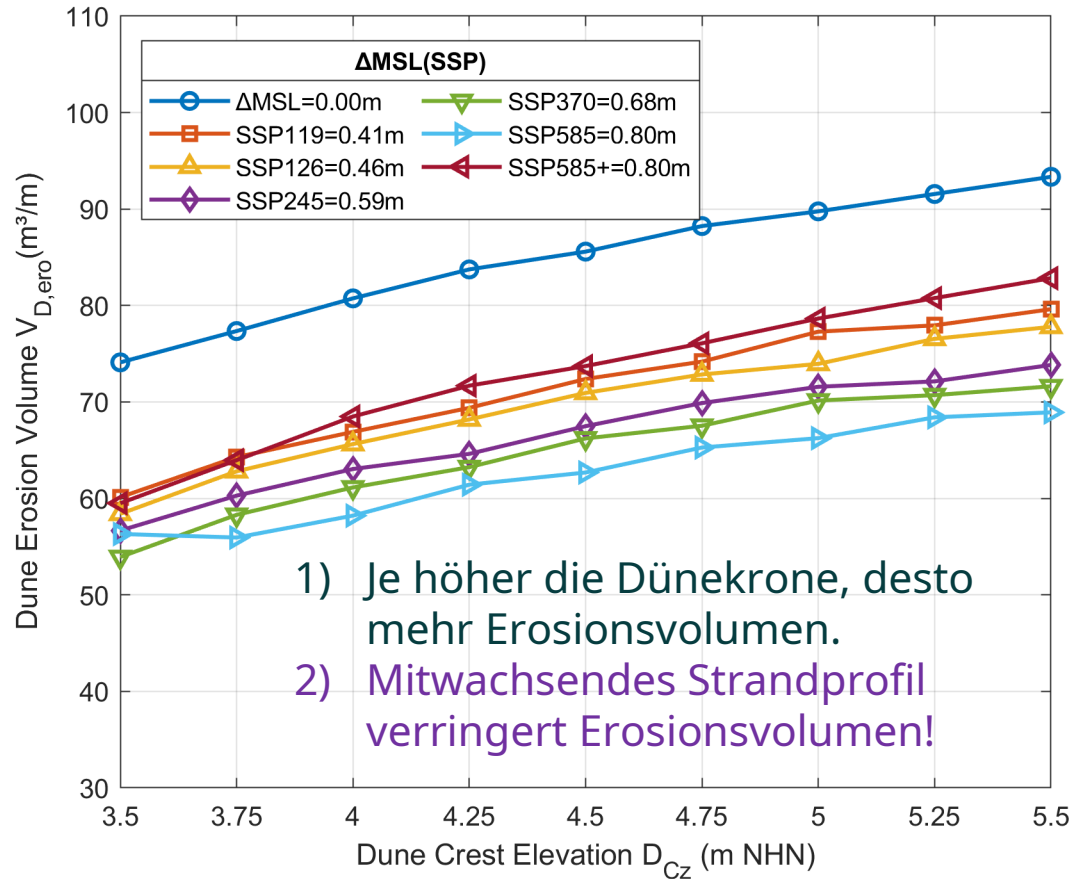
Ergebnisse Klimaszenarien: **Dünenerosionsvolumen** vs. Dünenhöhe für ΔMSL (SSPs)

$$D_{Tz} = 0.09 \text{ m} + \Delta z (\Delta\text{MSL})$$

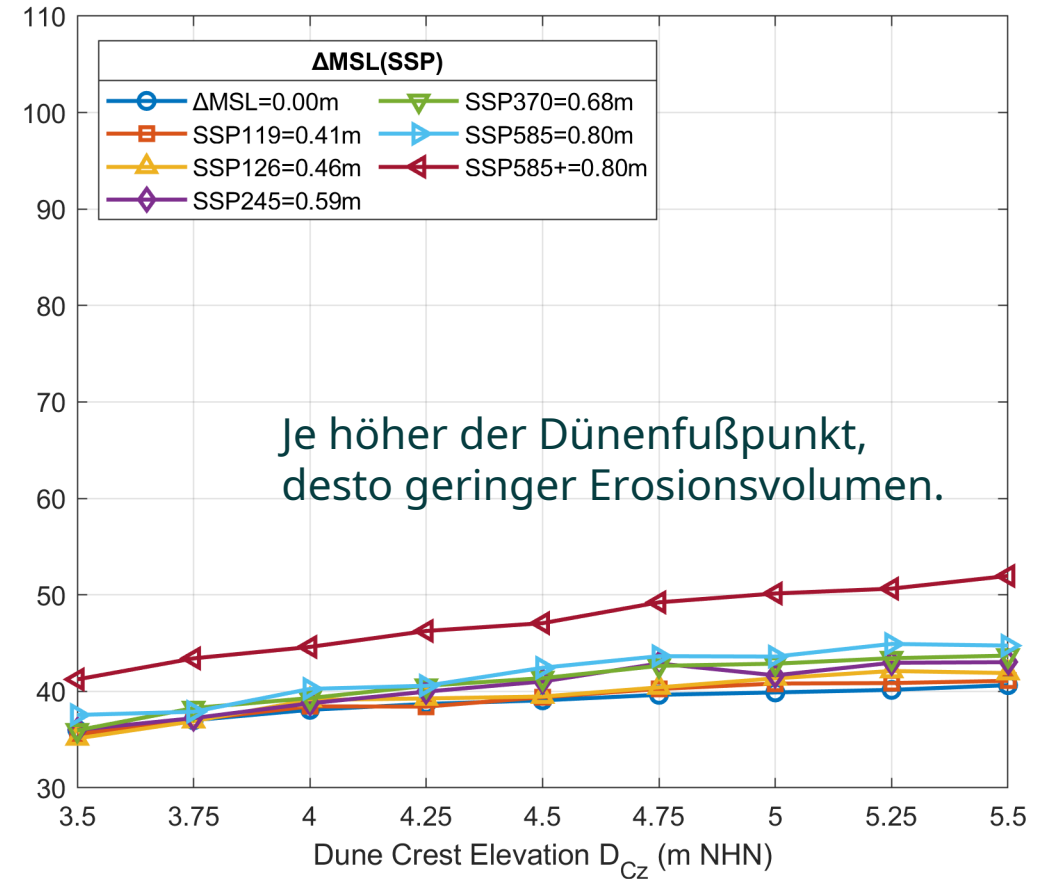


Ergebnisse Klimaszenarien: **Dünenerosionsvolumen** vs. Dünenhöhe für ΔMSL (SSPs)

$$D_{Tz} = 0.09 \text{ m} + \Delta z (\Delta\text{MSL})$$



$$D_{Tz} = 2.30 \text{ m} \sim \text{Vergleichswert von Neue (2013)}$$



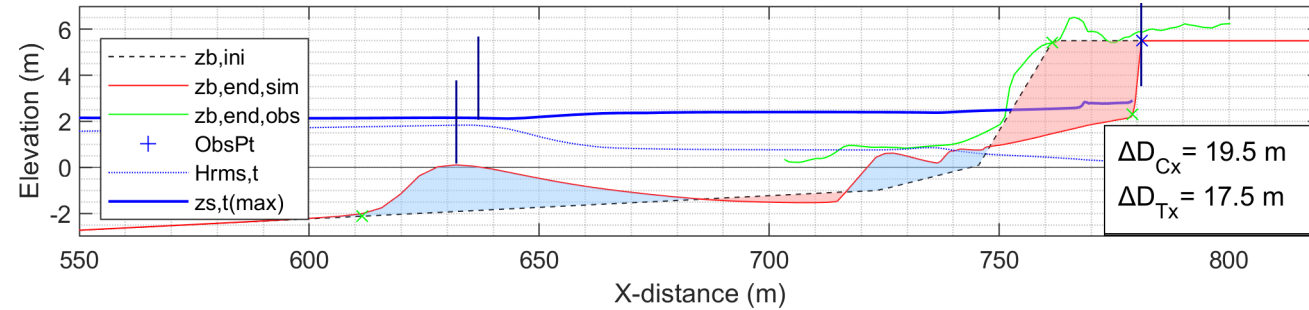
Ergebnisse Klimaszenarien: Dünenerosionsvolumen vs. Dünenhöhe für ΔMSL (SSPs)

Profilvergleich:

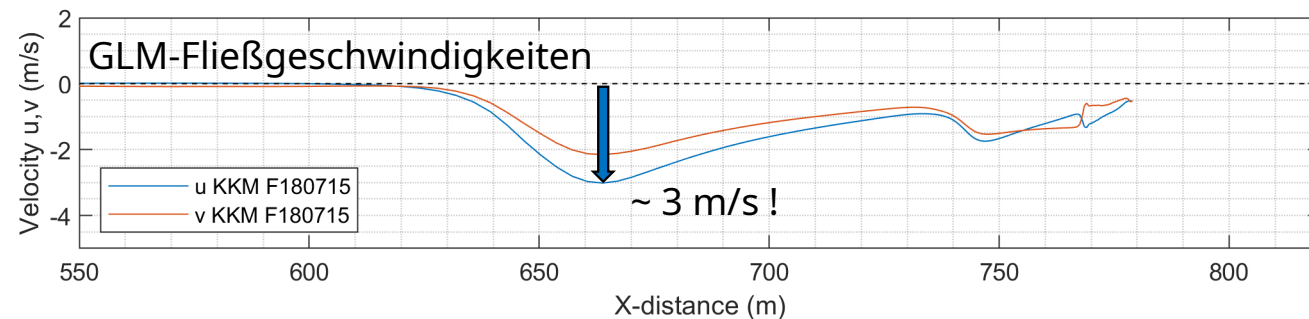
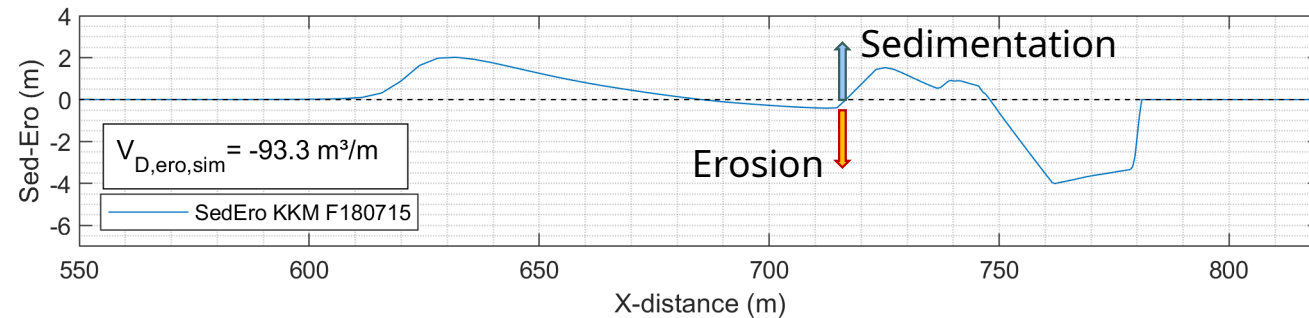
**RHW vs.
RHW + ΔMSL**

(mitwachsender
Dünenfuß / Strand, ohne
Grundanhebung)

RHW



ΔMSL (SSP585)
= +0.8 m



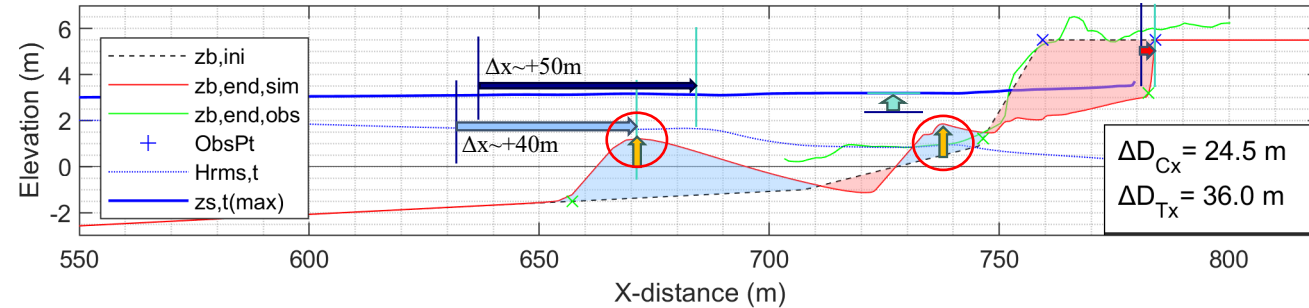
Ergebnisse Klimaszenarien: Dünenerosionsvolumen vs. Dünenhöhe für ΔMSL (SSPs)

Profilvergleich:

**RHW vs.
RHW + ΔMSL**

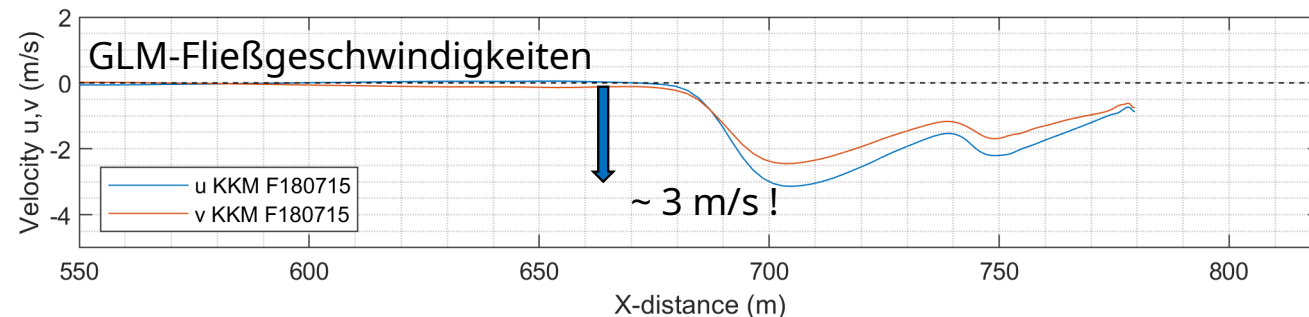
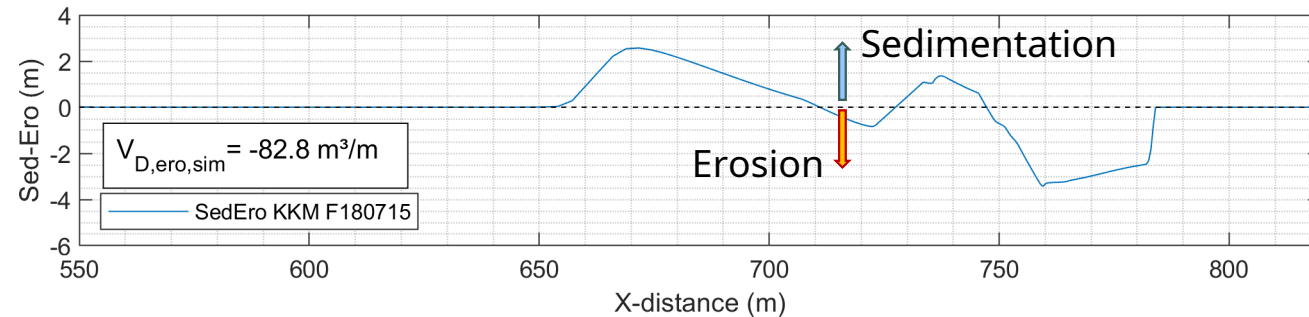
(mitwachsender
Dünenfuß / Strand, ohne
Grundanhebung)

RHW + ΔMSL (SSP585+)



ΔMSL (SSP585)
= +0.8 m

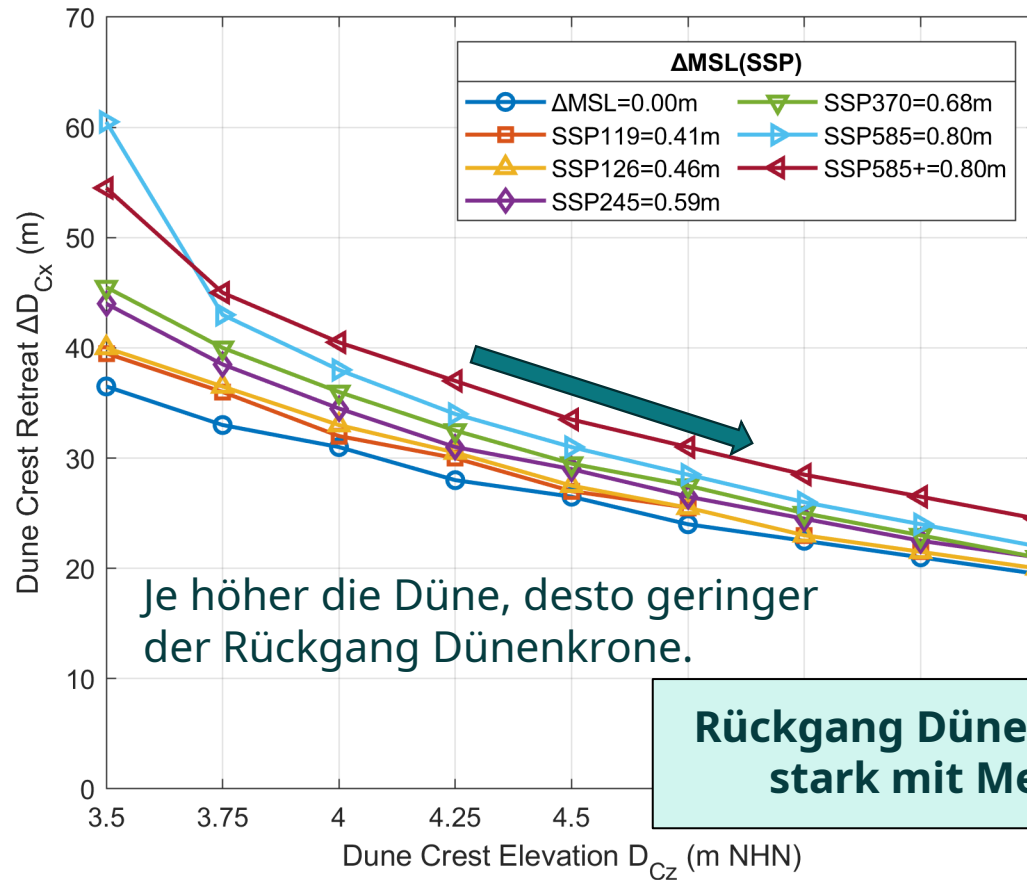
Wellenumwandlung
+
Energiefreisetzung
+
Sedimentation
wandern landwärts!



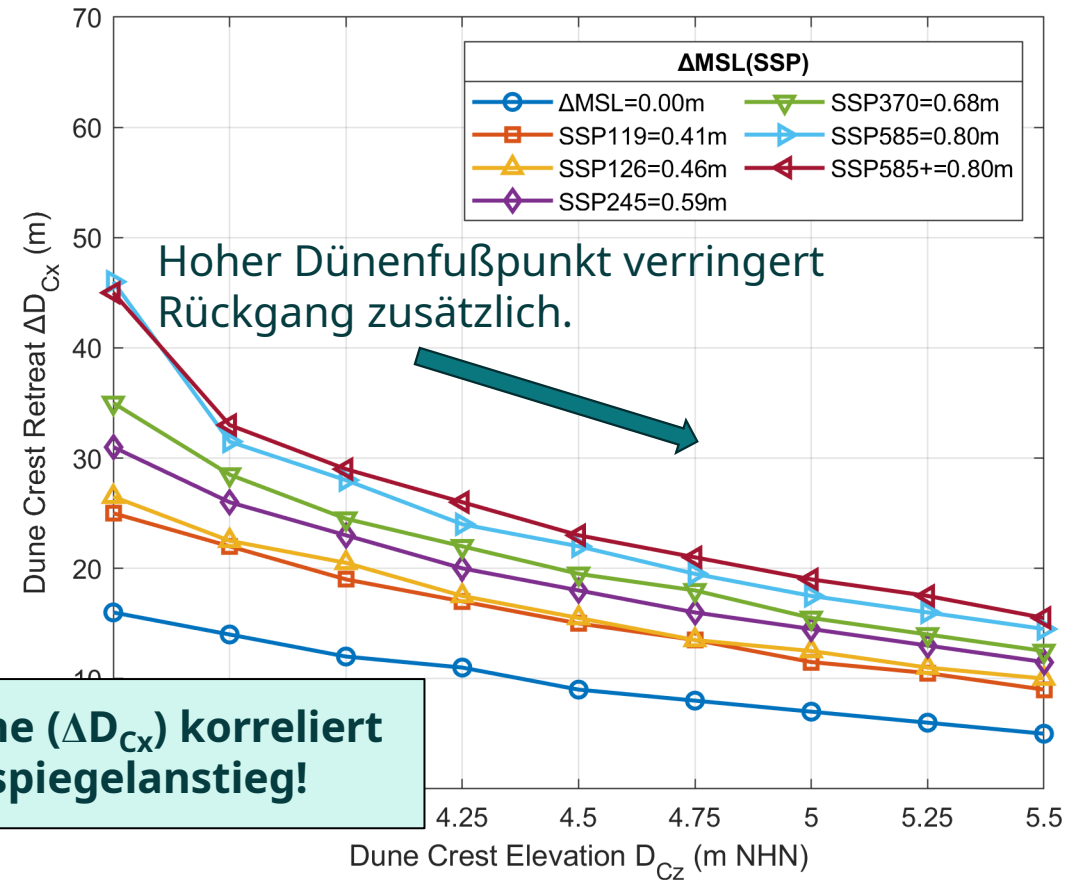
Komprimierung
morphodynamisch
aktiver Zone!

Ergebnisse Klimaszenarien: **Dünenrückgang** vs. Höhe Dünenkrone für ΔMSL (SSPs)

$D_{Tz} = 0.09 \text{ m} + \Delta z \text{ (MSL, MHW)}$



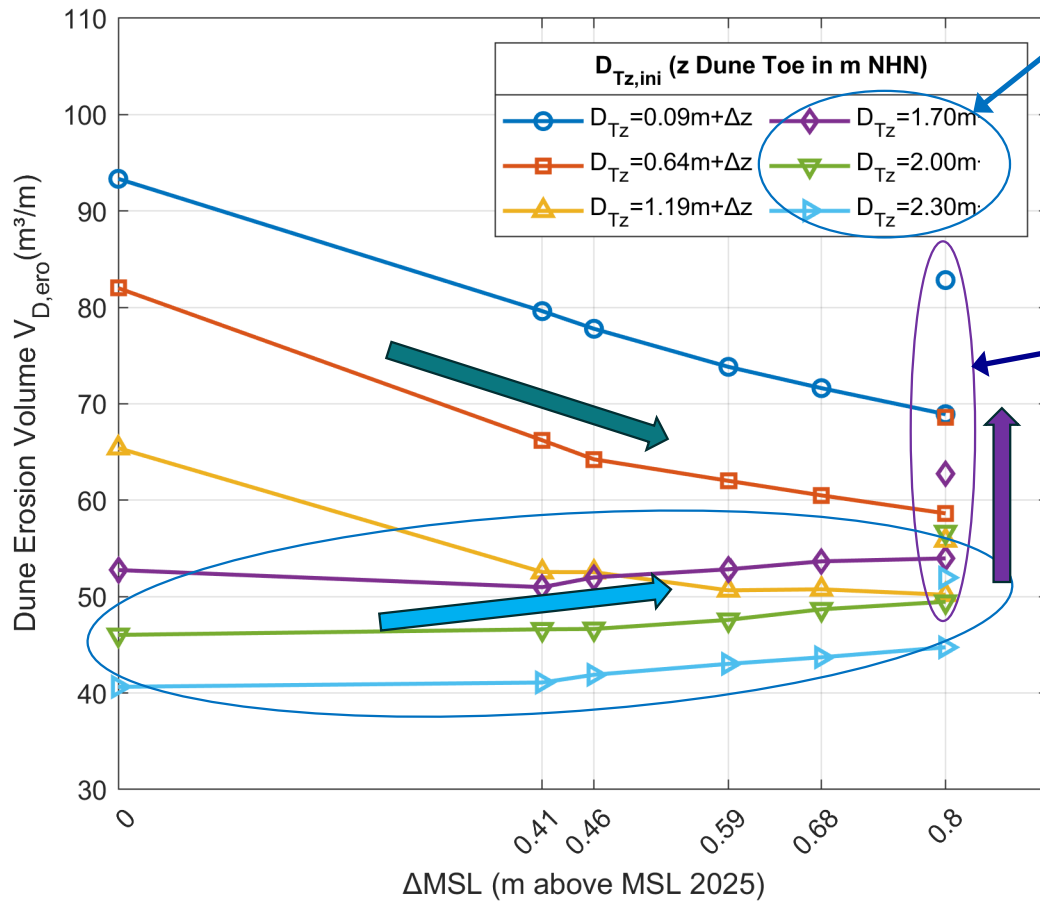
$D_{Tz} = 2.30 \text{ m}$



Rückgang Dünenkrone (ΔD_{Cx}) korreliert stark mit Meeresspiegelanstieg!

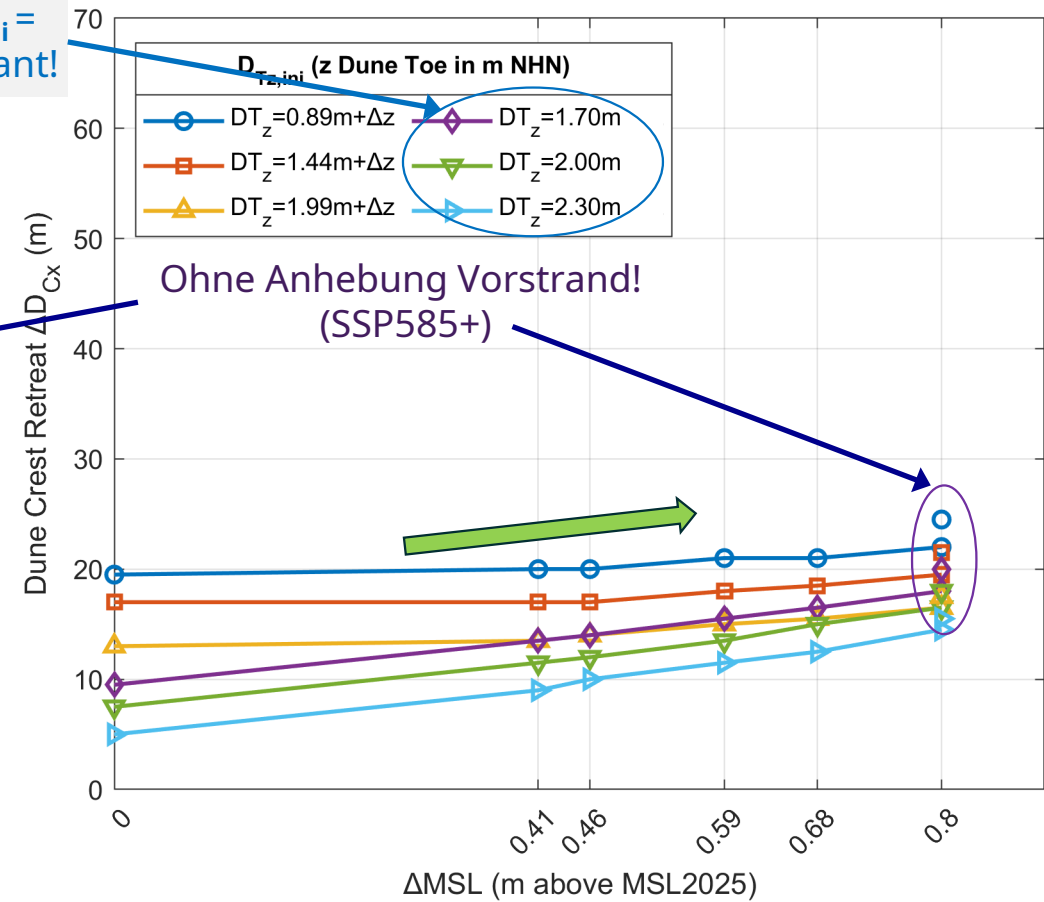
Ergebnisse Klimaszenarien: Erosionsvolumen & Dünenrückgang vs. ΔMSL (SSPs)

$V_{D,ero}$ (Erosionsvolumen)



&

$\Delta D_{C,x}$ (Rückgang Dünenkrone)

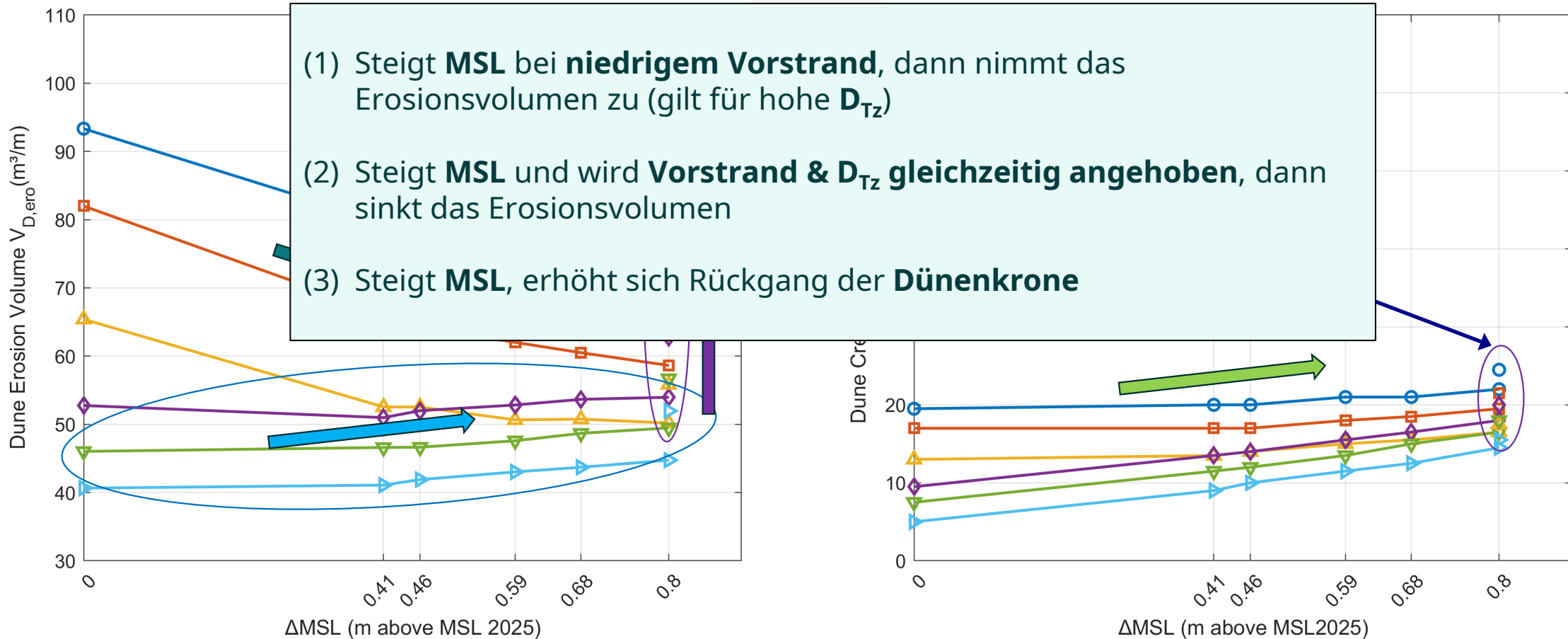


Ergebnisse Klimaszenarien: **Erosionsvolumen** & **Dünenrückgang** vs. ΔMSL (SSPs)

$V_{D,ero}$ (Erosionsvolumen)

&

$\Delta D_{C,x}$ (Rückgang Dünenkrone)

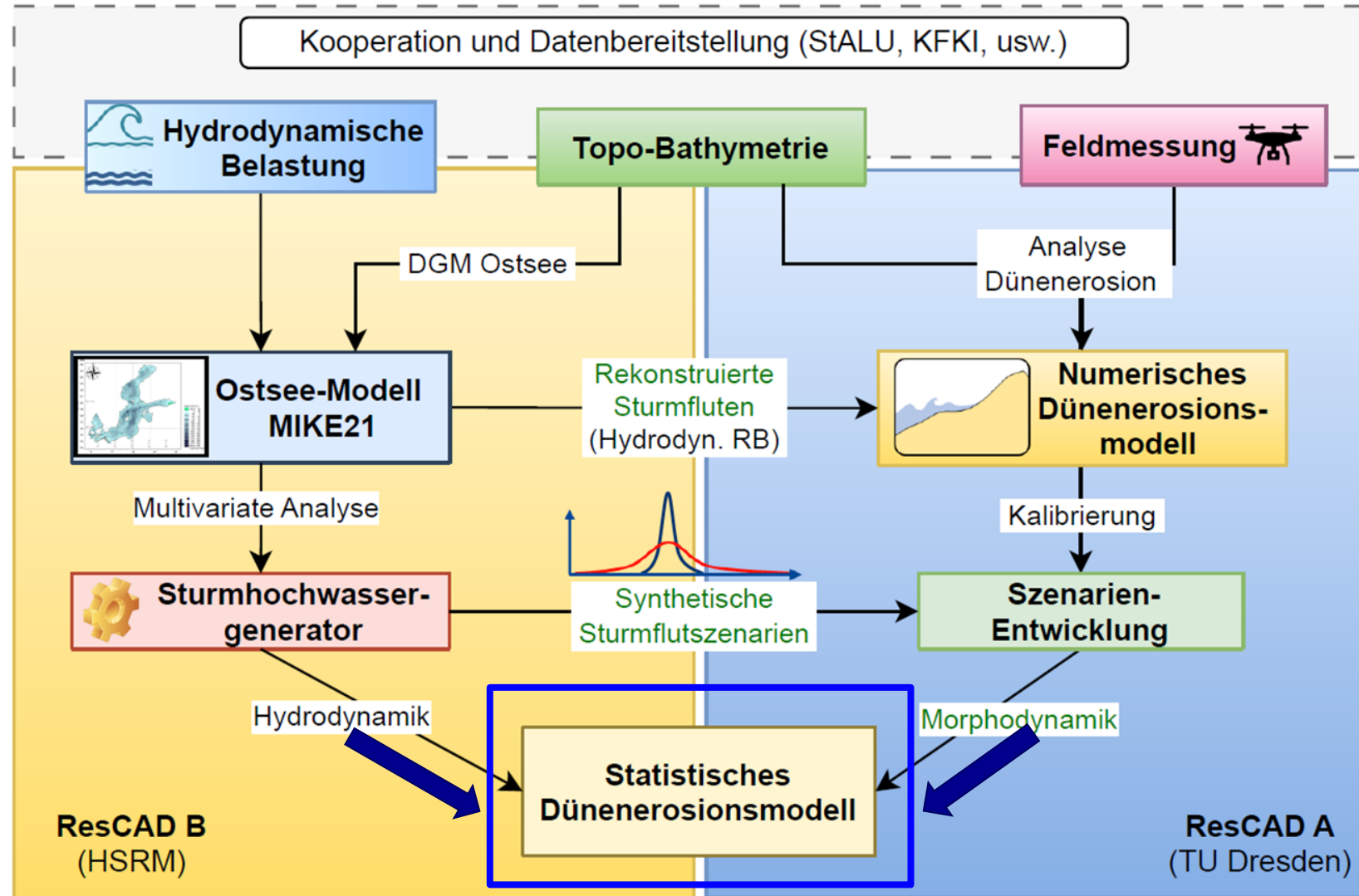


Zwischenfazit: Szenarienanalyse und numerisches Dünenerosionsmodell

Extreme Sturmhochwasser und Klimaszenarien:

- **Wellendissipation** und **Transformation** verschieben sich landwärts
- Berücksichtigung **mitwachsender Regelprofile**: Düne + Strand + (Vorstrand?)
- Für $RHW_{200a} + SSP585$ ~ **Dünenrückgang** (horizontal) erhöht sich um 60% – 170%!
- Die **DoC (Depth of Closure** ~ morphodyn. aktive Zone) hebt sich proportional zum MSL an
- **Dünenerosionsvolumen** ist stark vom Ausgangsprofil (Z. B. Dünenfußpunkt, Vorstrand und Höhe Dünekrone) abhängig! Steigt MSL und das Grundniveau, kann Erosionsvolumen auch abnehmen.
- Ursachen: Mehr Wellenreflektion durch steilere Strandneigung, höhere Sandbänke vor Düne
- Dafür benötigte **große Spülmengen** im Strand- und Vorstrandbereich schaffen zwar langfristig Sicherheit (flacher Böschungsanstieg), sind aber **ökonomisch** sehr zu hinterfragen!

Überblick über das Gesamtvorhaben: Statistisches Erosionsmodell (ResCAD B)



Statistisches Erosionsmodell: Siehe Teil ResCAD B

Zusammenfassung: Projektergebnisse ResCAD

1. **Sturmhochwassergenerator**

- Generierung von synthetischen Sturmhochwassern entlang der gesamten deutschen Ostseeküste



2. **Statistisches Dünenerosionsmodell**

- Schnelle Vorhersage von potentiellen Erosionsmengen unter gegebenen hydrodynamischen Bedingungen.



3. **Numerisches Dünenerosionsmodell**

- Lokal kalibriert für Ahrenshoop, Methodik leicht anwendbar auf andere Abschnitte!
- In 1D für schnelle, lokale Analysen, z. B. Ermittlung von Pessimalprofilen geeignet

4. **Szenarienanalyse mit XBeach**

- Variationen des Einflusses aus synthetischen Sturmhochwassern, Dünen- und Strandgeometrie, sowie Klimaszenarien (SSPs)

Zusammenfassung: Zusätzliche Arbeiten (Bonus)

Feldmessungen

- Automatisiertes **terrestrisches LaserScanning**
- Geotechnische Untersuchungen (Korngrößenverteilungen / Rammsondierungen)
- UAV-LiDAR, Photogrammetrie und Küstennahe Tiefenmessung (< 1 m Wassertiefe) an mehreren Küstenabschnitten

Analysen

- Dünen-Morphologie Küstenabschnitt Ahrenshoop 2013 – 2024 (ALS-Daten aus TADK)
- Analysen Wellenangriffswinkel & Küstenquertransport vs. Erosion in 2D
- Sensitivitätsstudie & Parameteranalysen mit Xbeach 1D



Ausblick: Einladung zum **Praxis-Transfer-Workshop** (Klimaanpassung mit Dünen)

Bedienung der entwickelten Werkzeuge

- **Sturmhochwasser-Generator**
- Statistisches Dünenerosionsmodell: **SanDrA**
- Numerisches Dünenerosionsmodell: **XBeach-1D**

Diskussion der Ergebnisse

- Anwendungsmöglichkeiten, Bedarfe und Skalierung der Tools
- Weiterführende Projekte und Forschungsfragen

Anmeldung und Infos

- Für aktive Beiträge:

dirk.fleischer1@tu-dresden.de

Tel.: +49 (0)351 - 463 32399

- Weitere Infos via **KFKI-Newsletter** und Projekt-Website (*comming soon!*)

ResCAD

Resistance and Climate
Adaption in Dune Systems

Kontakt:

Dipl.-Ing. Dirk Fleischer, dirk.fleischer1@tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Simon Beckmann, Simon.Beckmann@hs-rm.de



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



Hochschule RheinMain



Institut für
Wasserbau und
Technische Hydromechanik



Kuratorium für Forschung
im Küsteningenieurwesen

FONA

Forschung für Nachhaltigkeit