

# Küstenschutz Ostsee

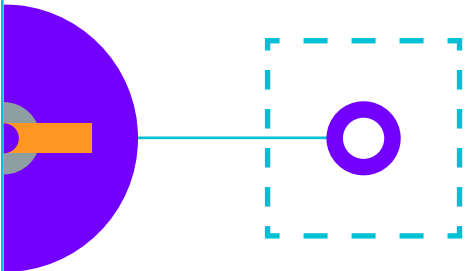
## zukünftige Wasserstände



**TUHH**  
Technische  
Universität  
Hamburg

**WASSERBAU**  
*River and Coastal Engineering*

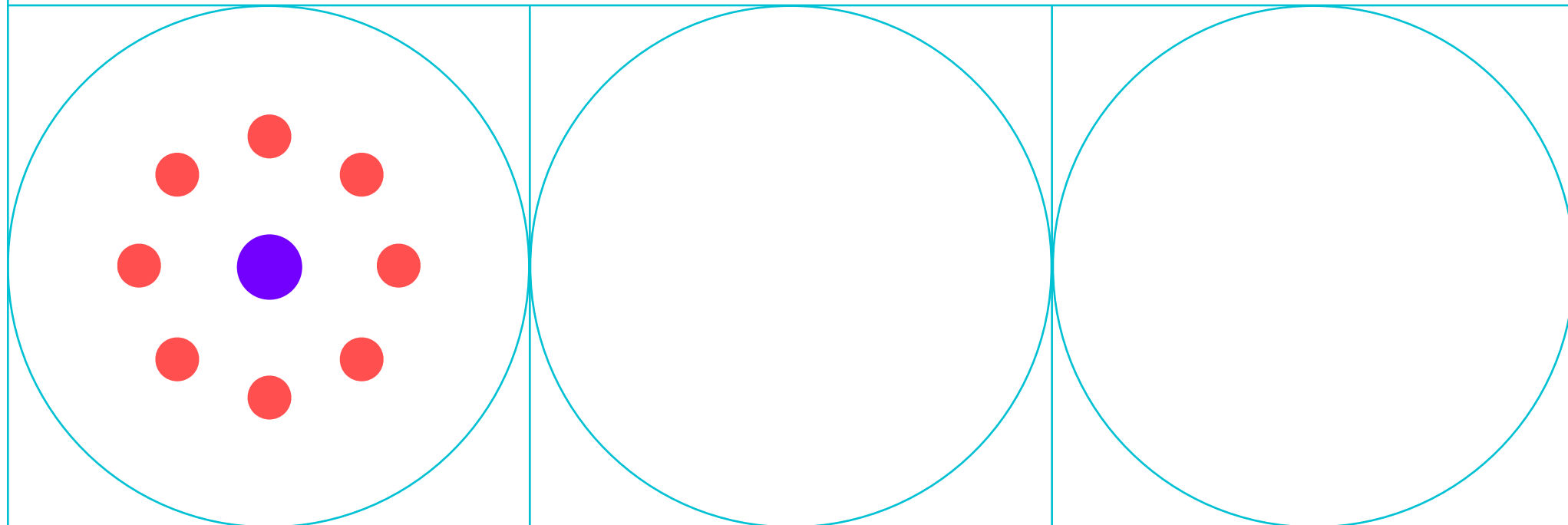
# Extreme Wasser- stände



1. Retrospektive
2. Aktuelle Statistiken
3. Klimawandel
4. Zukünftige Extremereignisse
5. Zusammenfassung => take home message

# Extreme Wasserstände

- Retrospektive



# Hochwasser an Küsten





# Hochwasser an Küsten

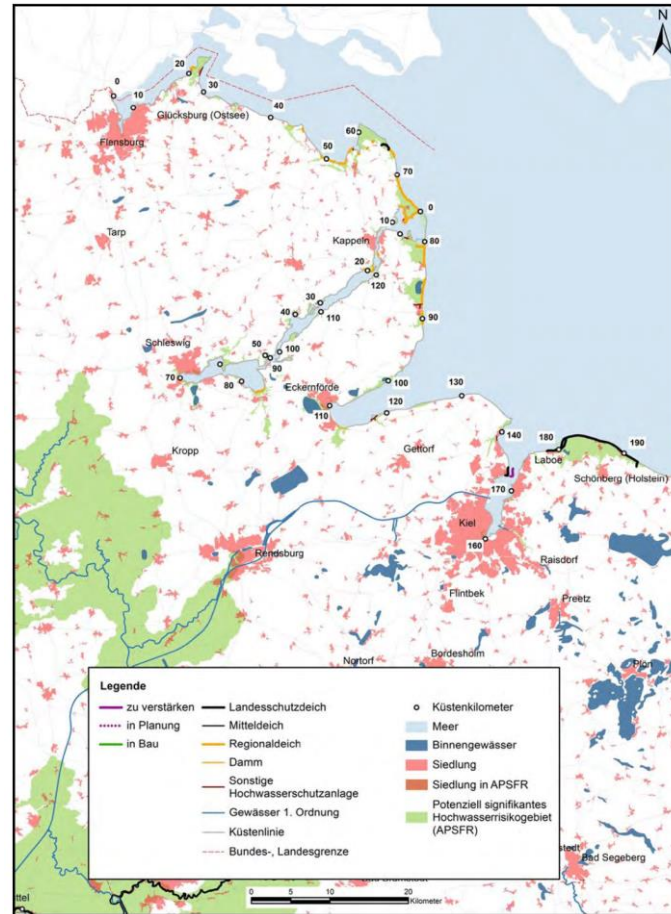


Foto: ALR Husum

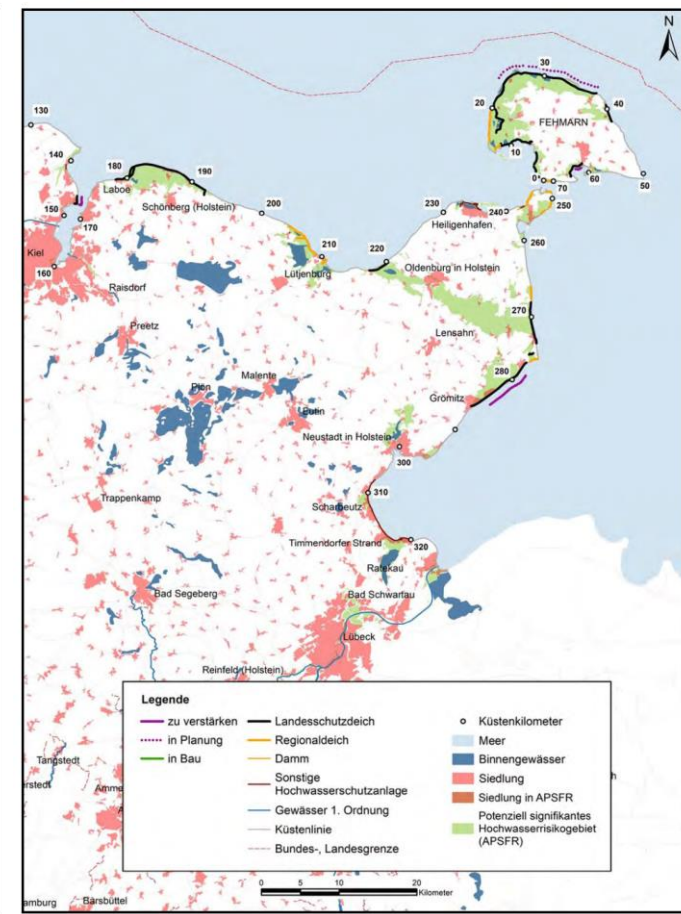
# Hochwasser an der Ostsee und Auswirkungen



Karte 4: Potenziell signifikante Hochwasserrisikogebiete, Küstenschutzanlagen und Maßnahmen an Landesschutzdeichen Ostseeküste Nordwest.



Karte 5: Potenziell signifikante Hochwasserrisikogebiete, Küstenschutzanlagen und Maßnahmen an Landesschutzdeichen Ostseeküste Südost.





# Sturmflut 20./21.10.2023 – NDR

**TUHH**

**WASSERBAU**  
*River and Coastal Engineering*

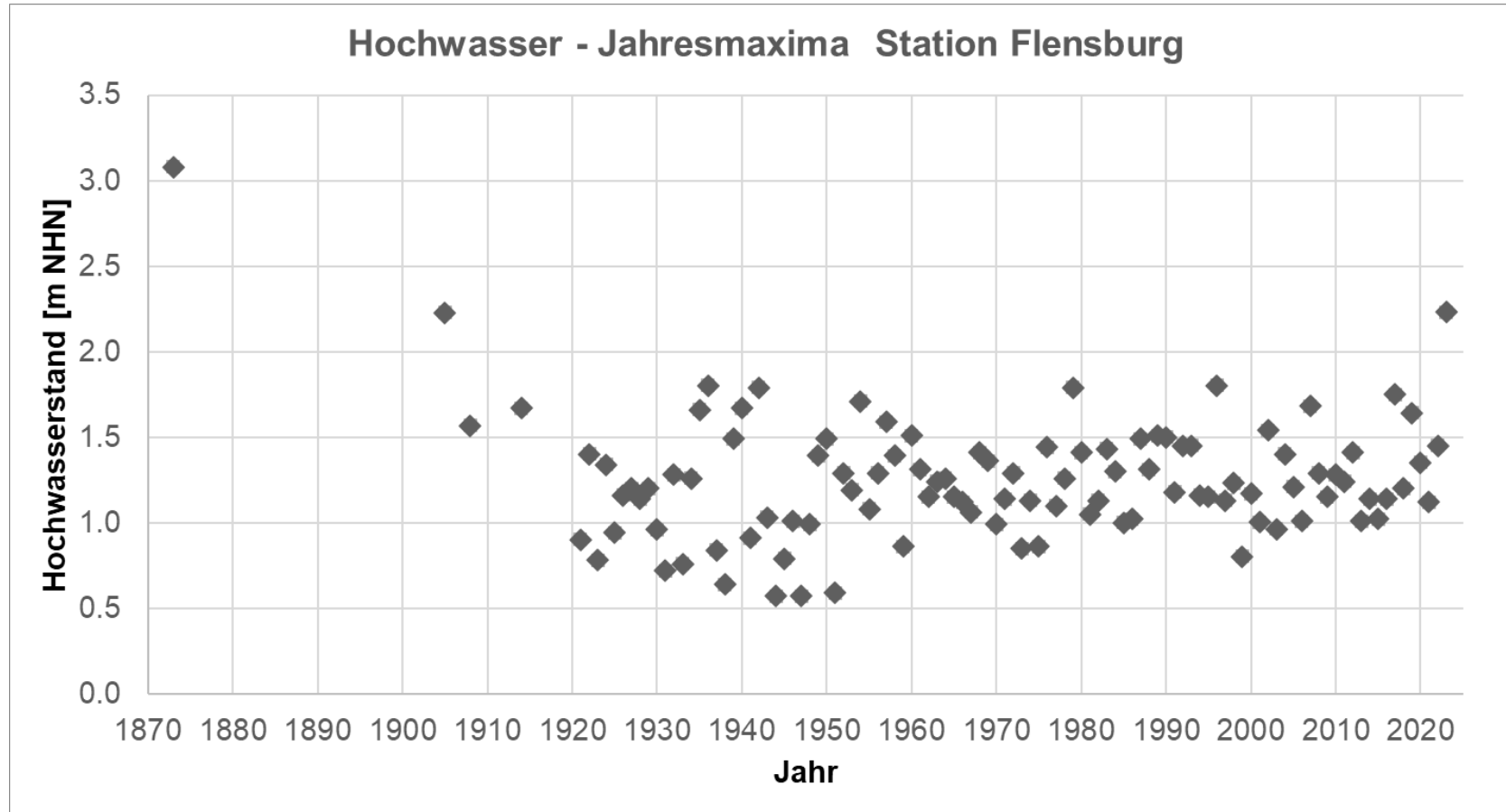


7

Quelle: NDR 20.10.2023

28.03.2024

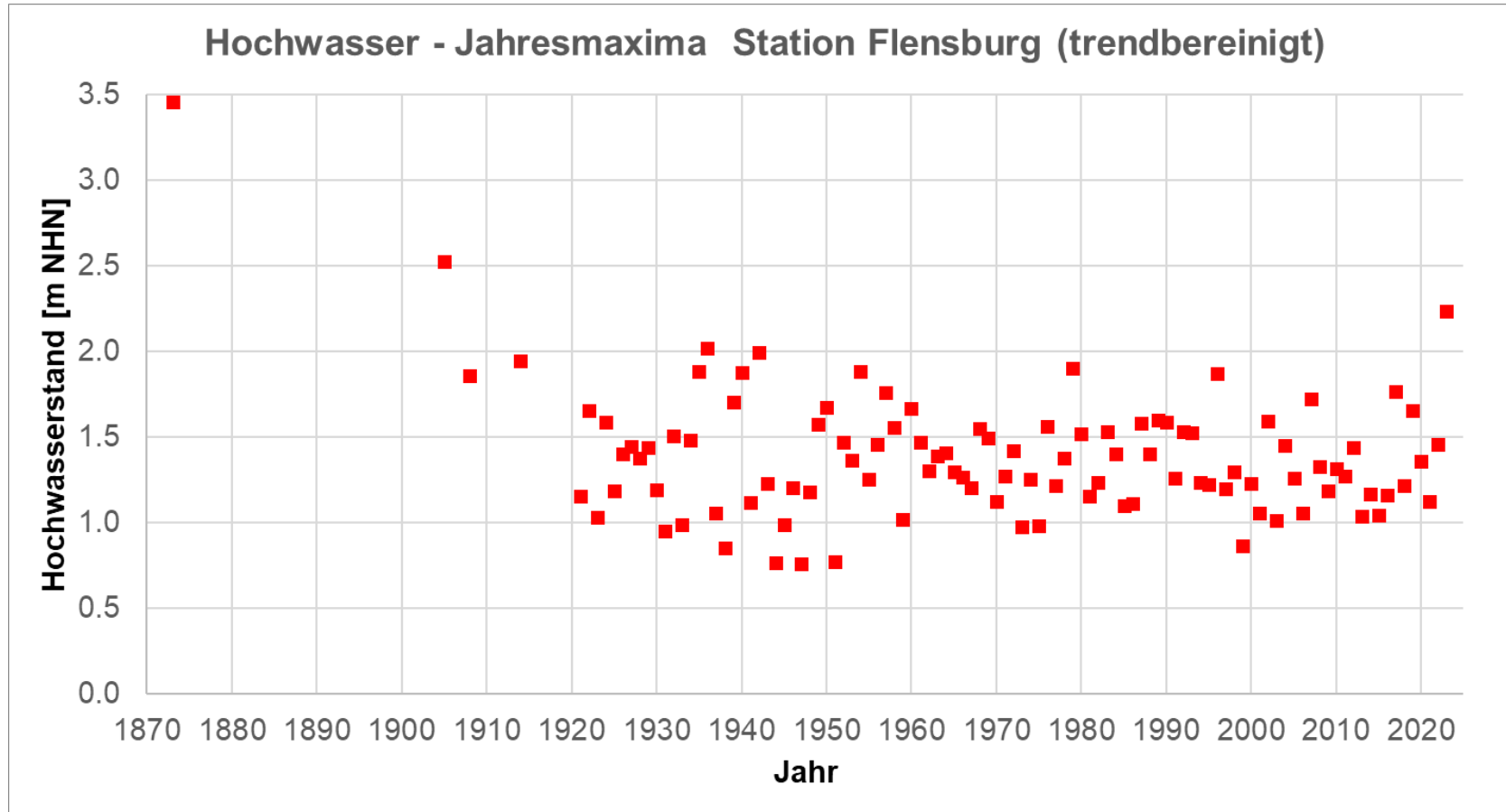
# Extreme Hochwasserstände in der Ostsee



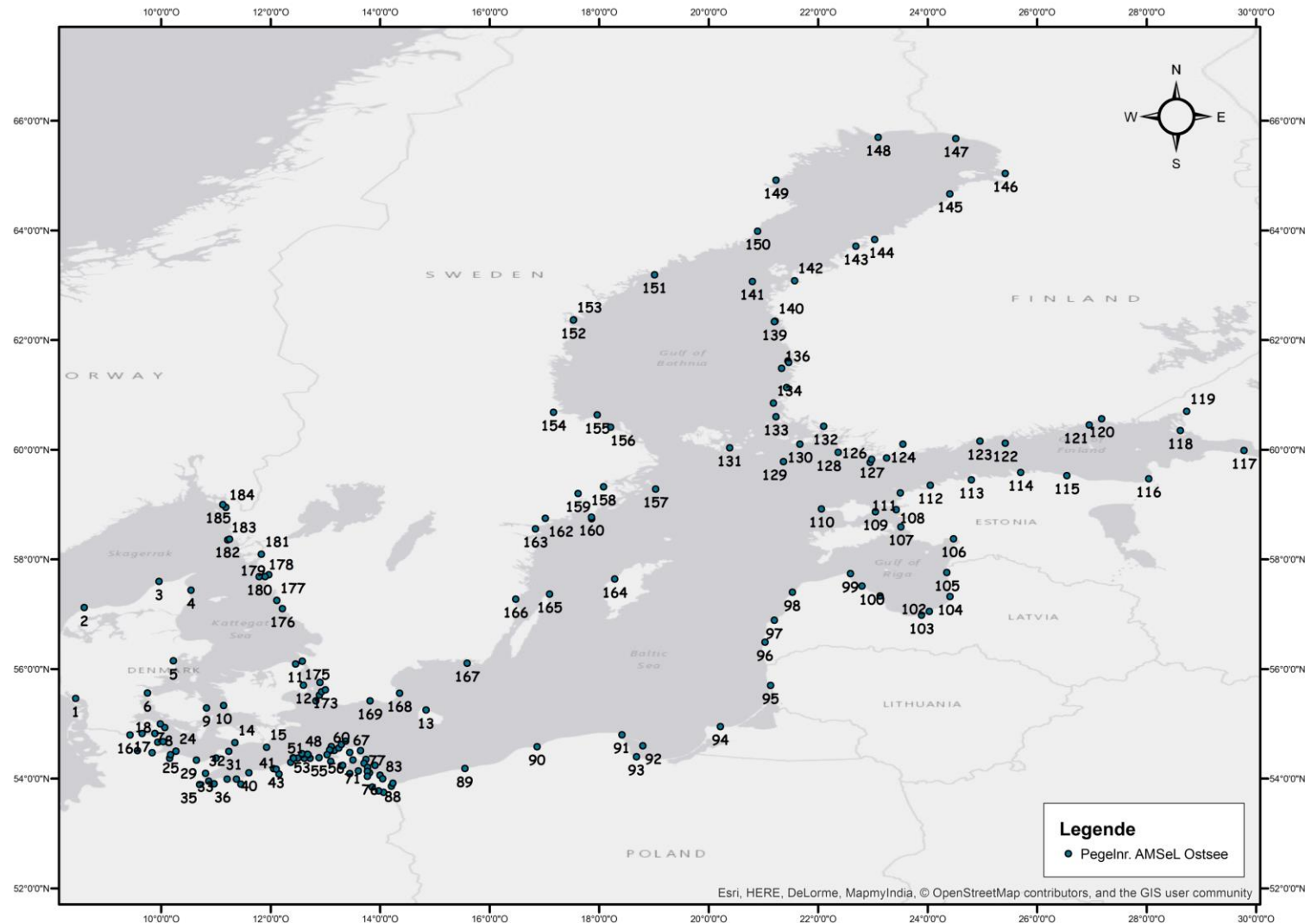
Datenquelle: WSV - Pegel Flensburg



# Extreme Hochwasserstände in der Ostsee

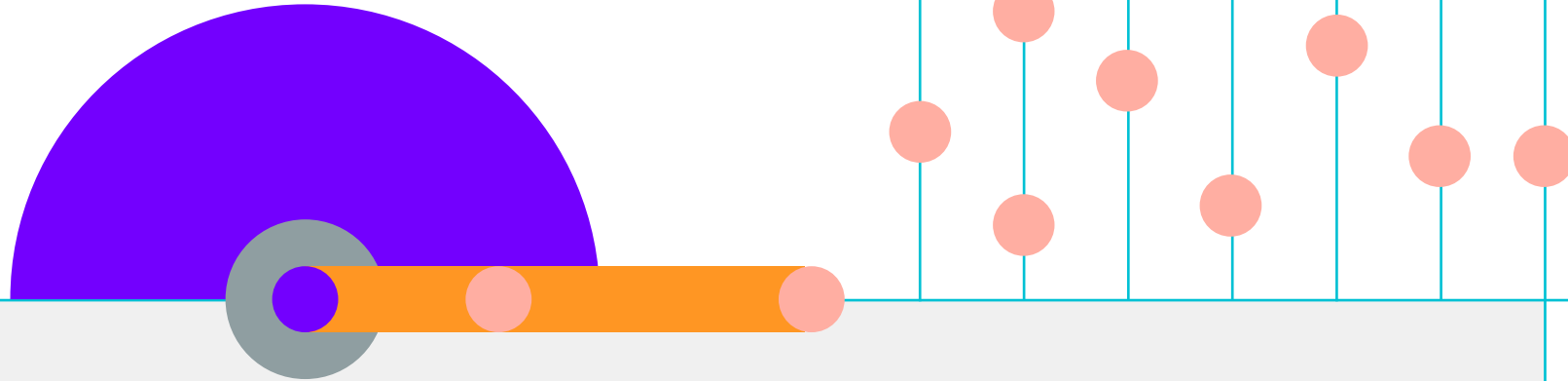


# Pegelstationen – Projekt AMSEL – Ostsee



# Aktuelle Bemessungswasserstände

## - Generalplan Küstenschutz SH





# Bemessungswasserstände Ostsee

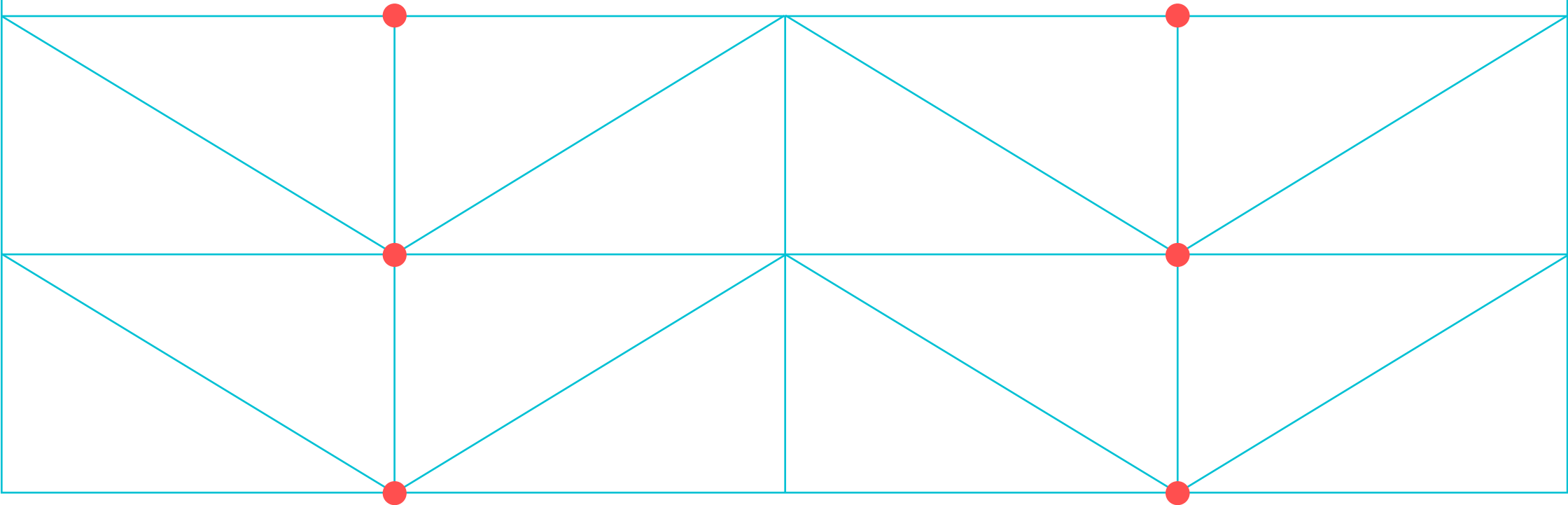
Anl. 8: Statistisch ermittelte Sturmflutwasserstände an der Nord- und Ostseeküste (NHN + cm)

Pegel	HW <sub>10</sub>	HW <sub>20</sub>	HW <sub>50</sub>	HW <sub>100</sub>	HW <sub>200</sub>	HW <sub>500</sub>	HW <sub>1000</sub>	BHW
<b>Nordsee</b>								
List	374	395	419	434	447	462	471	497
Wittdün	387	409	434	450	463	478	488	513
Wyk auf Föhr	414	438	464	481	495	511	522	545
Husum	508	538	570	590	608	628	641	658
Büsum	467	494	524	543	559	578	589	609
Cuxhaven	452	477	506	524	540	558	569	590
<b>Ostsee</b>								
Flensburg	176	193	213	228	242	259	272	292
Schleimünde	178	195	216	231	245	263	275	295
Kiel Holtenau	169	186	206	220	233	250	262	283
Heiligenhafen	177	194	214	229	243	260	273	293
Marienleuchte	173	190	210	224	238	255	267	288
Travemünde	185	203	225	240	255	273	286	305

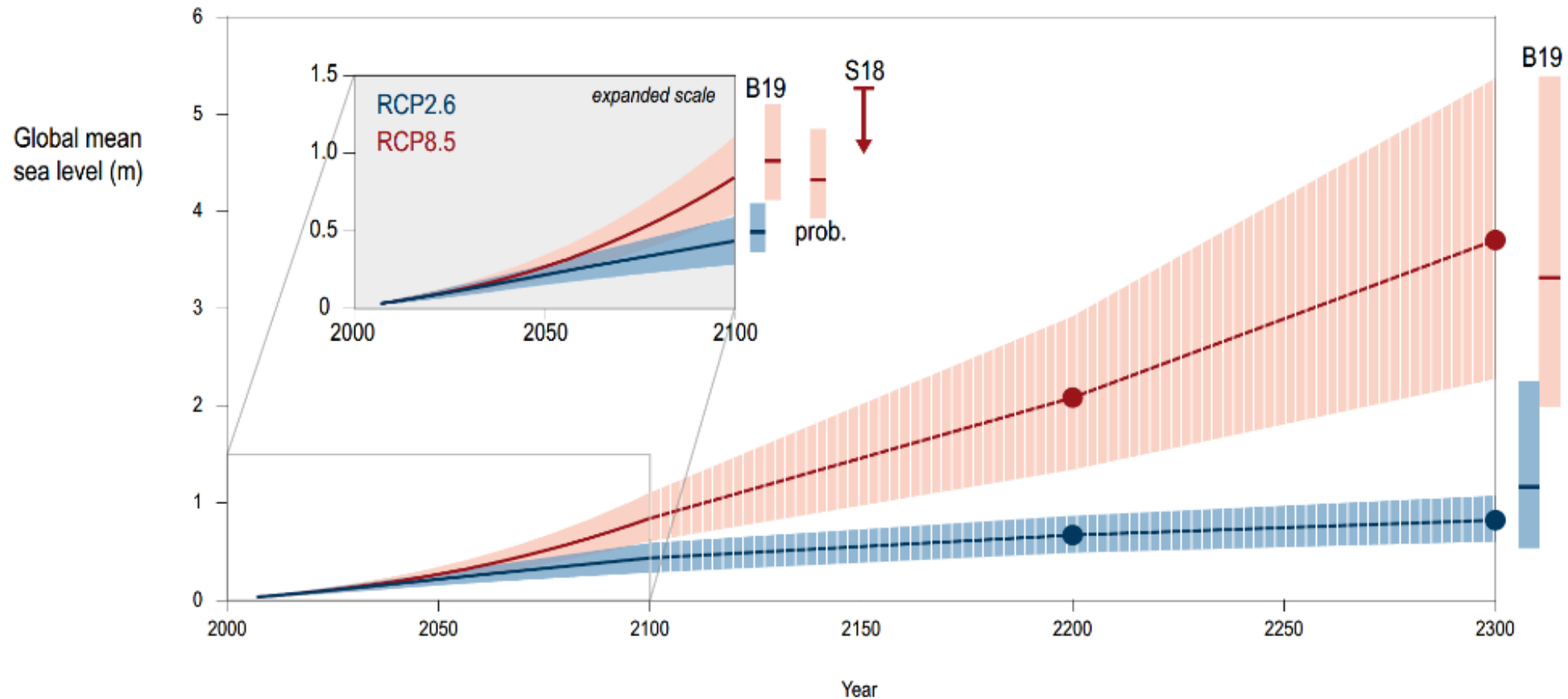
Quelle: Generalplan Küstenschutz SH

# Klimawandel (exemplarisch)

- Meeresspiegelanstieg
- geänderte Windverhältnisse



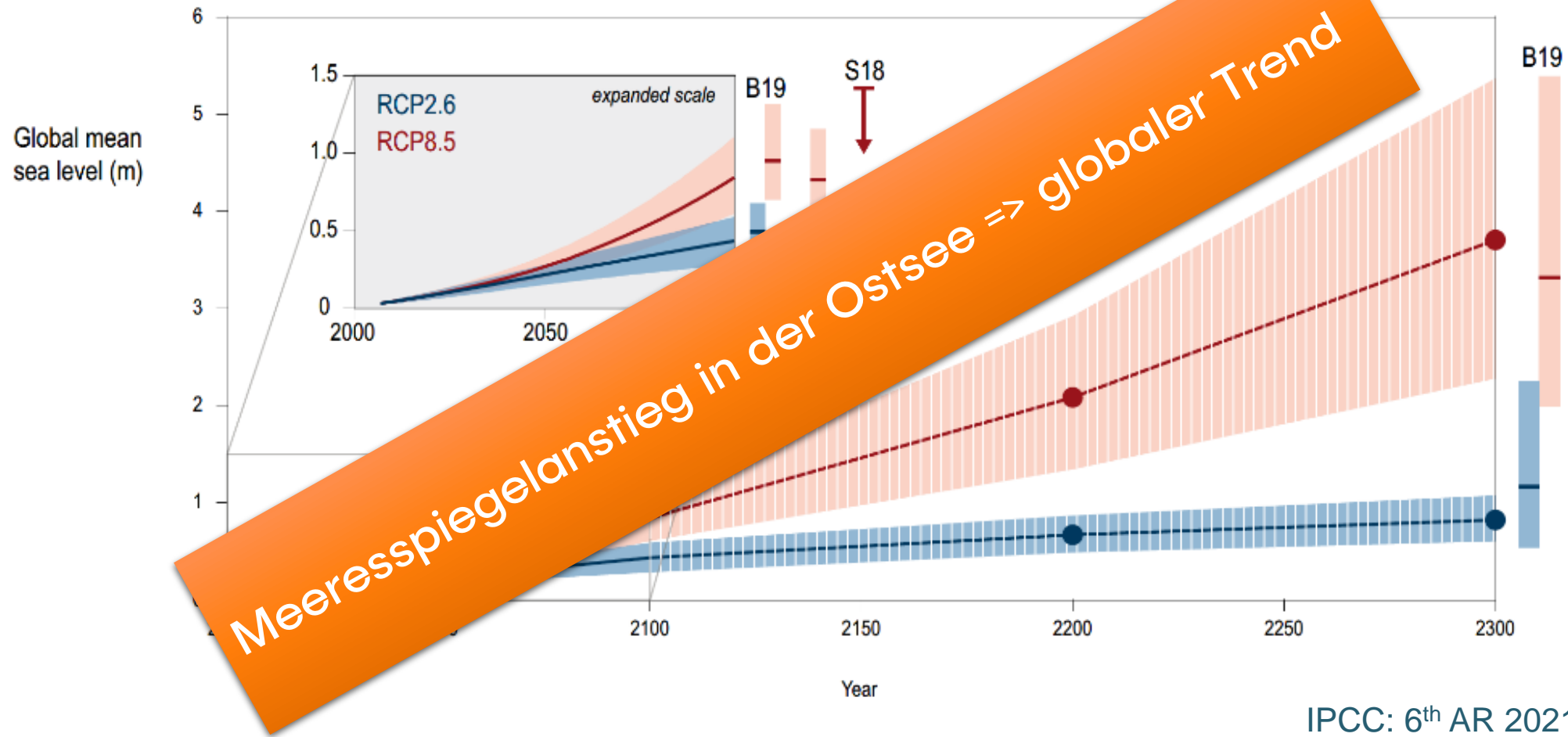
# Klimawandel und Meeresspiegelanstieg



IPCC: 6<sup>th</sup> AR 2021

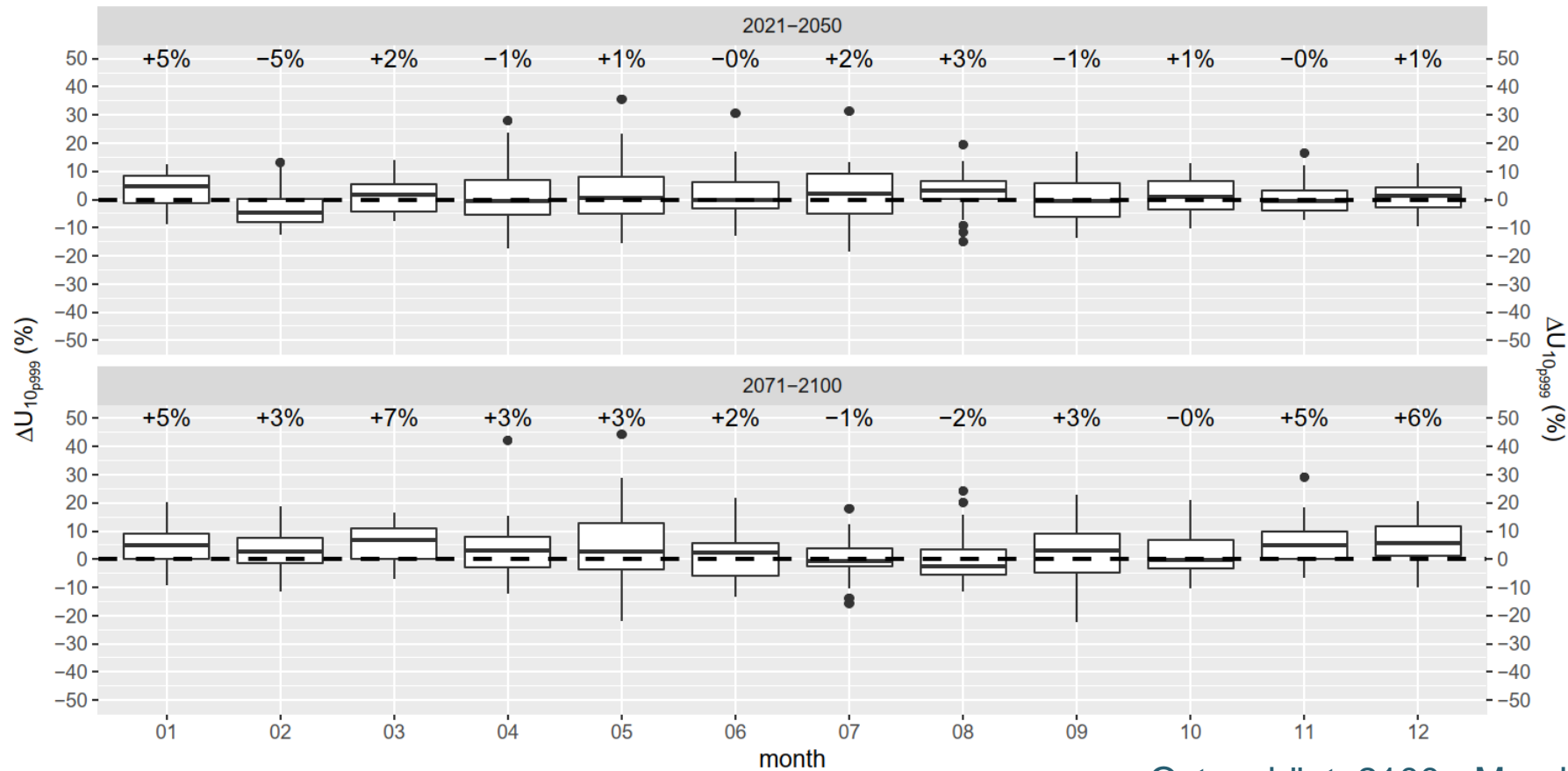


# Klimawandel und Meeresspiegelanstieg



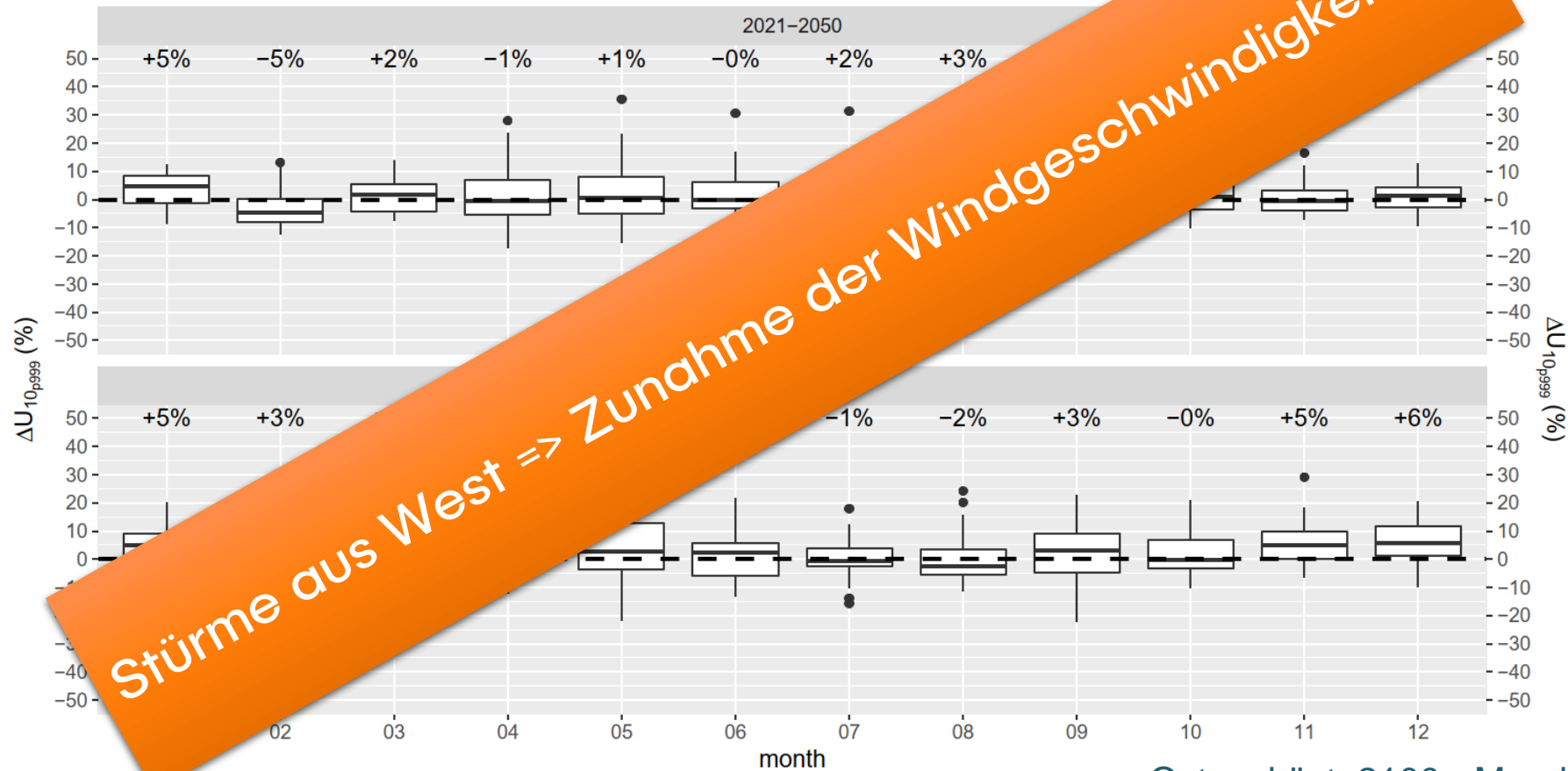
# Klimawandel => Veränderungen der Windverhältnisse (Klimamodelle)

## Zukünftige Veränderungen der hohen Windgeschwindigkeiten aus westlichen Richtungen in der westlichen Ostsee



# Klimawandel => Veränderungen der Windverhältnisse (Klimamodelle)

Zukünftige Veränderungen der hohen Windgeschwindigkeit  
westlichen Richtungen in der westlichen Ostsee

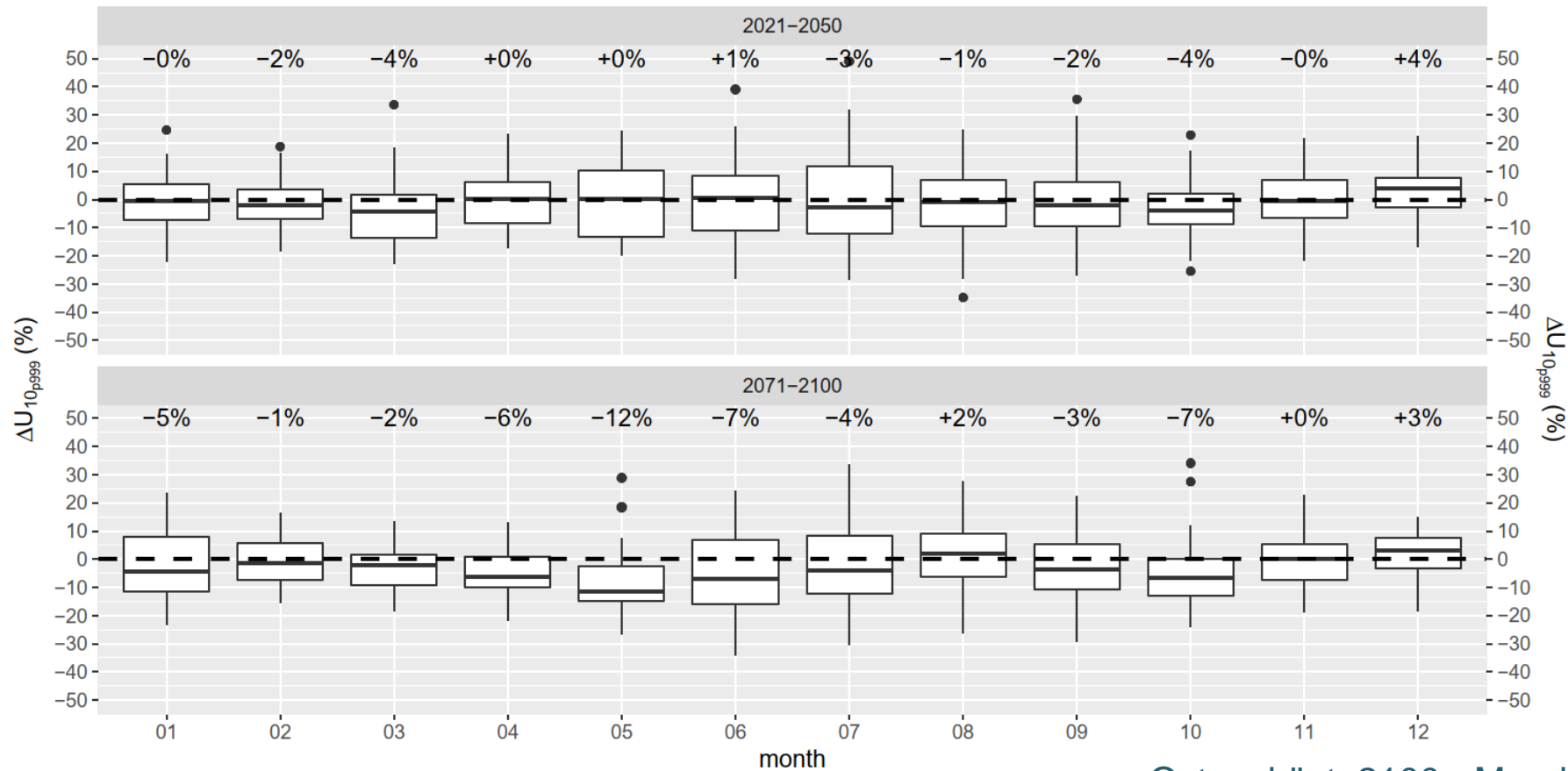


Stürme aus West => Zunahme der Windgeschwindigkeiten



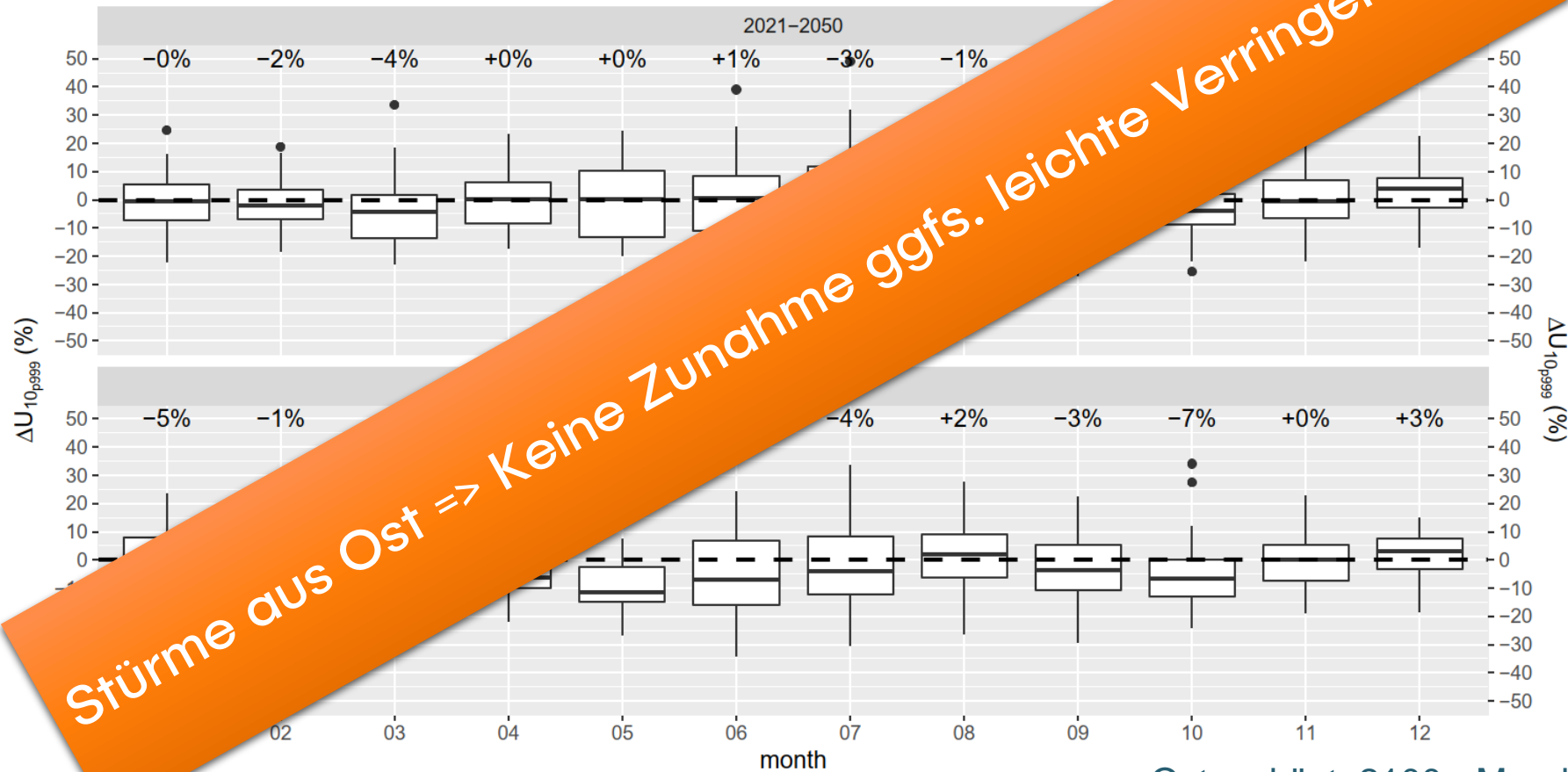
# Klimawandel => Veränderungen der Windverhältnisse (Klimamodelle)

## Zukünftige Veränderungen der hohen Windgeschwindigkeiten aus östlichen Richtungen in der westlichen Ostsee



# Klimawandel => Veränderungen der Windverhältnisse (Klimamodelle)

### Zukünftige Veränderungen der hohen Windgeschwindigkeiten in den Richtungen in der westlichen Ostsee



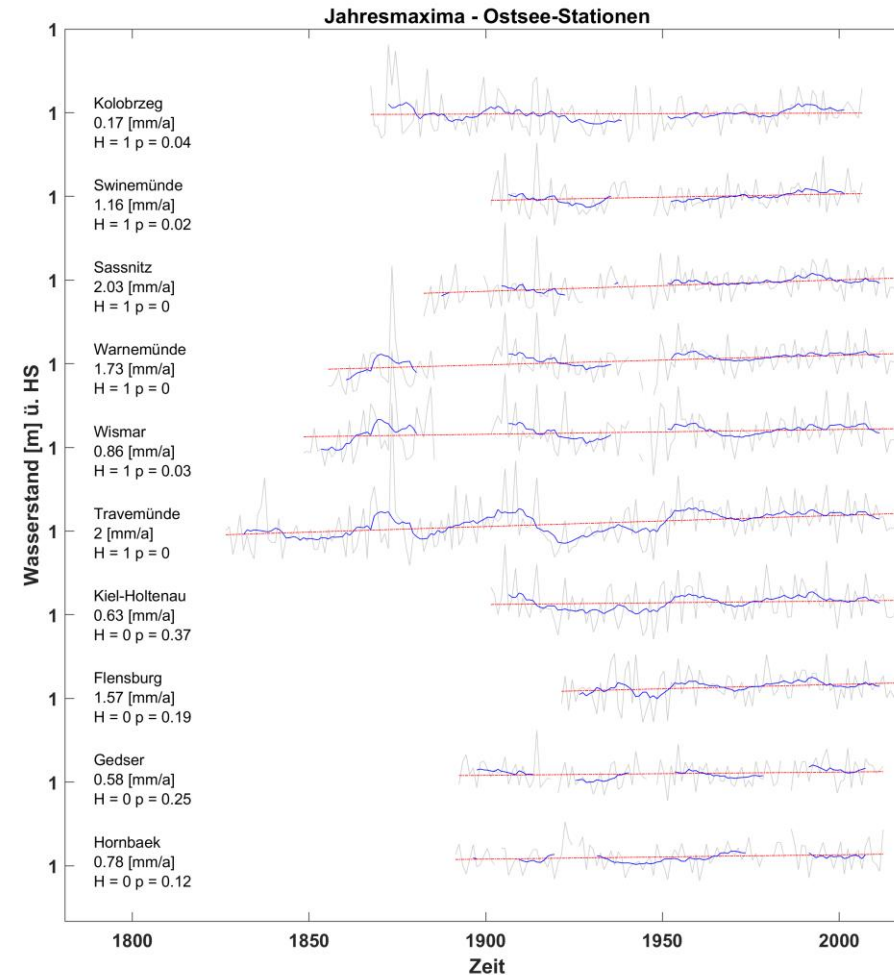
Stürme aus Ost => Keine Zunahme ggfs. leichte Verringerung

# Klimawandel und zukünftige Extremereignisse



# Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserstände (Untersuchungen AMSEL - Ostsee)

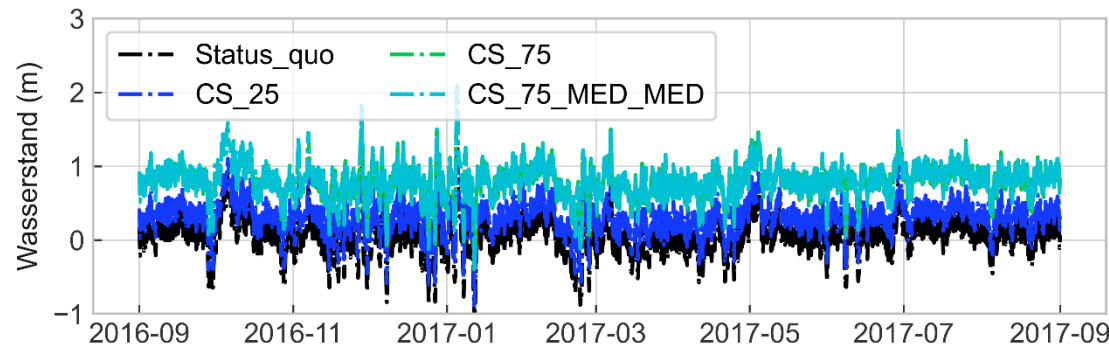
- Pegeldata von 184 Stationen in der gesamten Ostsee
- Analyse des Anstiegs der MSL (mittl. Meeresspiegel)
- Analyse der Zunahme der Sturmhochwasserstände
- **Ergebnisse**
  - MSL und Sturmhochwasserstände zeigen vergleichbare Trends
  - Zunahme in den letzten 100 Jahre rd. 20 cm



# Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserstände (Ostseeküste2100 => Morphologische Projektionen)

## • Szenarien

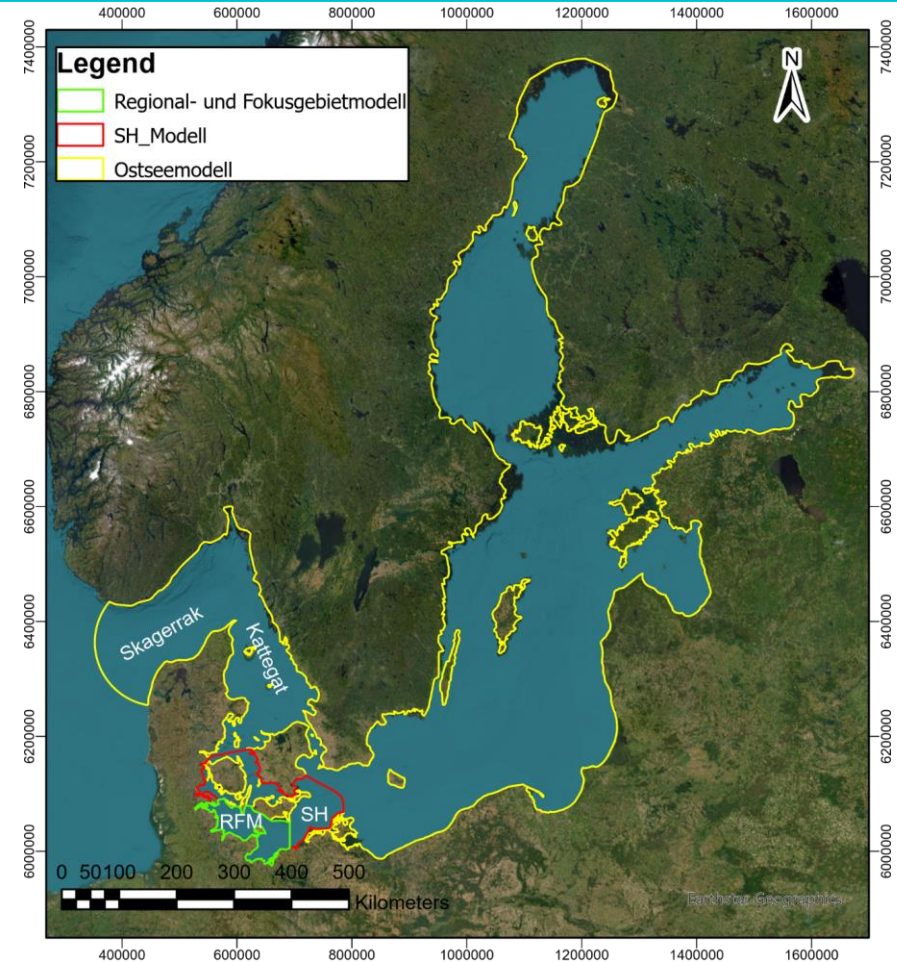
- Meeresspiegelanstieg + 25cm
- Meeresspiegelanstieg + 75cm
- Meeresspiegelanstieg + 75cm + Änderungen Wind



## • Wesentliche Ergebnisse

- Klimawandel erhöht die Wasserstände im Mittel linear
- Wellen werden in Küstennähe significant höher

Ostseeküste2100 - MorphoPro

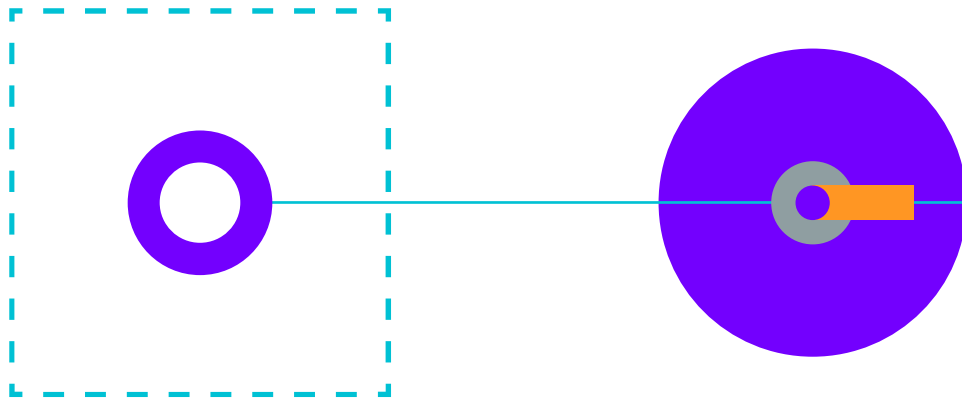


Kombiniertes numerisches Modell

- Antrieb: Wind, Luftdruck, Temperatur, ...
- Ergebnis: Wasserstand, Strömungen, Wellen



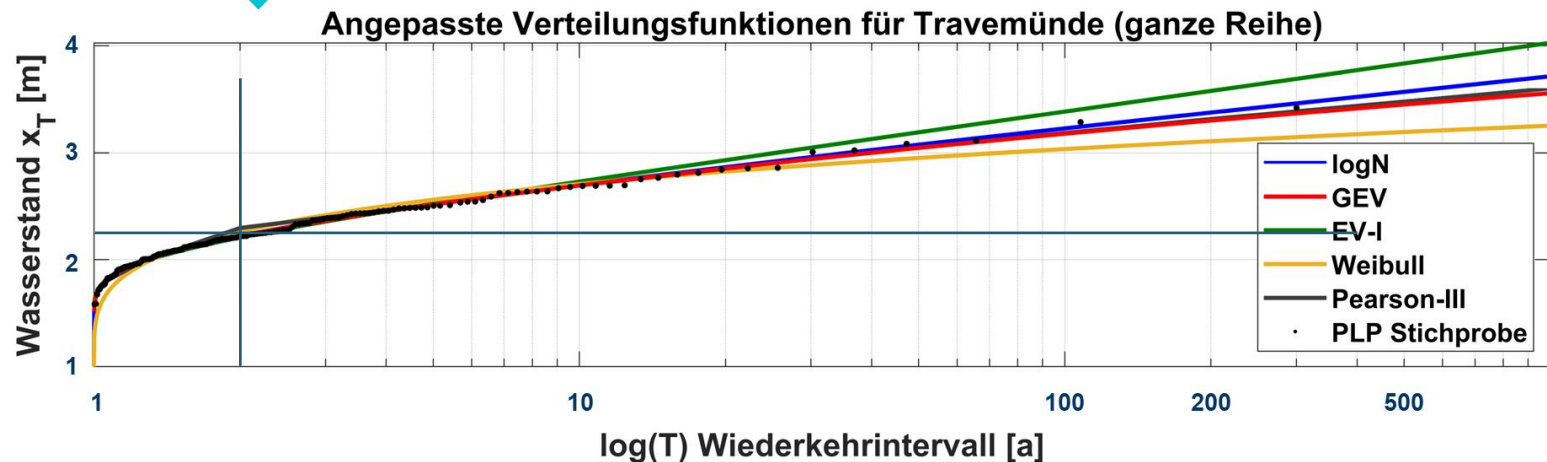
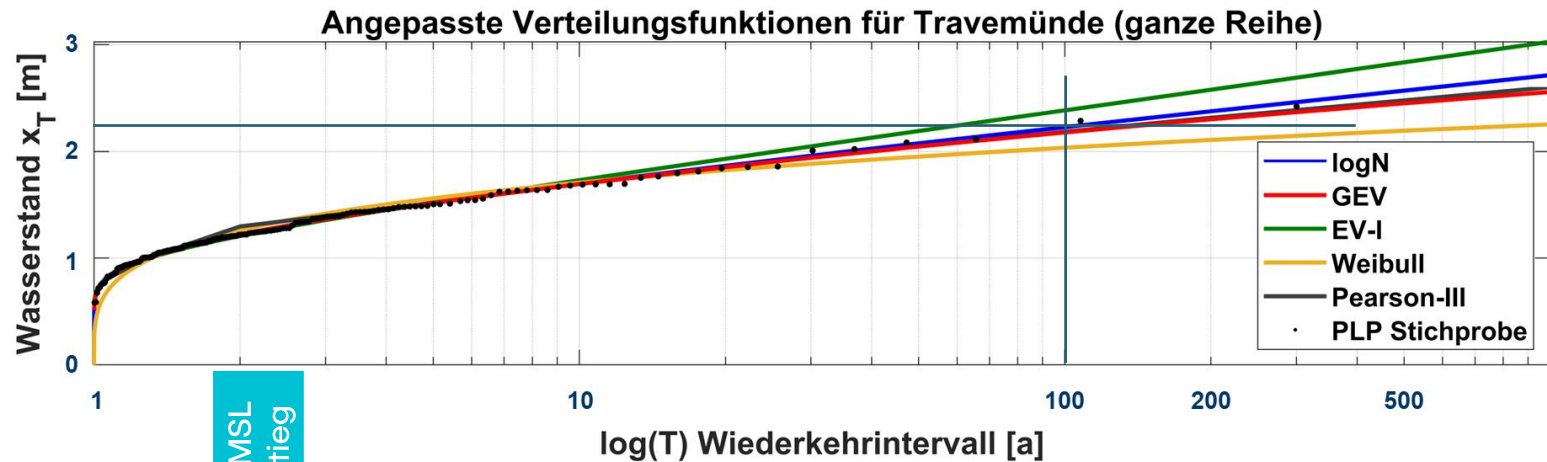
# Zukünftige Sturmhochwasser



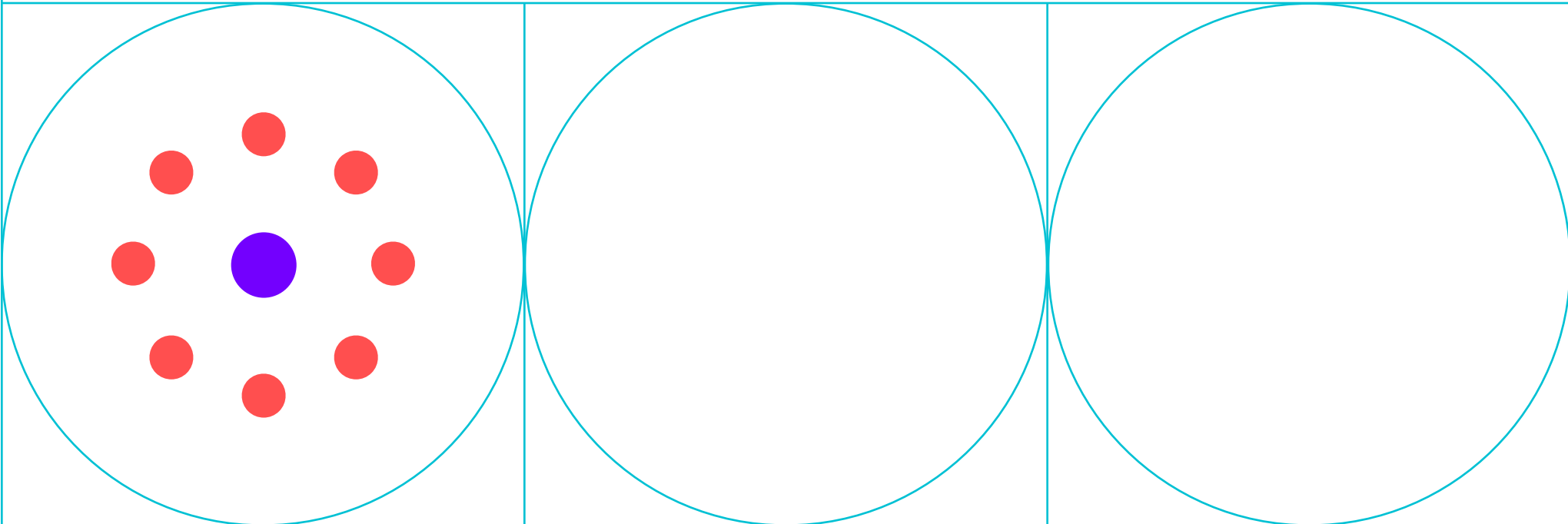
# Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserstände (Statistik) – Annahme: Meeresspiegelanstieg 1m

- Extreme Hochwasserstände treten zukünftig sehr viel häufiger auf

- Bsp.
  - 100-jährliches Ereignis
  - 2-jährliches Ereignis



# Zusammenfassung



## Sturmhochwasser

- **Stürme** sind in der Vergangenheit regelmäßig aufgetreten und werden auch in Zukunft regelmäßig auftreten
  - bisher höchste Wasserstände in der westlichen Ostsee in 1872 (teilweise mehr als 1m höher als 2023)
- **Bisherige Ereignisse** sind weit unterhalb der physikalischen Obergrenze für Sturmhochwasserstände
- Wahrscheinlichkeiten werden häufig unrichtig interpretiert (**100 – jährliches Ereignis** => tritt im statistischen Mittel mindestens einmal in 100 Jahren auf. In **jedem Jahr ist die Wahrscheinlichkeit identisch!**)

## Klimawandel

- **Wesentliche Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserstände** resultieren (nach dem aktuellen Stand der Klimamodelle) aus dem **Anstieg des mittleren Meeresspiegels**
- Zusätzlich ist nicht auszuschließen, dass Stürme zukünftig starker ausfallen werden

## Zukünftige Situation

- **Hochwasserstände, die heute einmal in 100 Jahren auftreten** werden – je nach Ausprägung des Klimawandels – **zukünftig einmal in 10 Jahren, einmal in 5 Jahren oder auch jährlich auftreten**

# Küstenschutz Ostsee

- nachhaltiger Küstenschutz der Zukunft

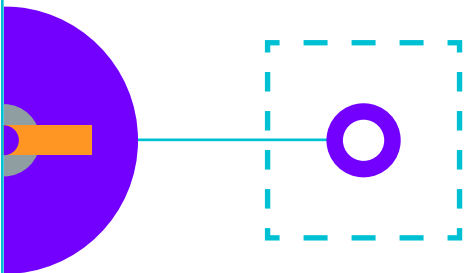


**TUHH**  
Technische  
Universität  
Hamburg

**WASSERBAU**  
*River and Coastal Engineering*



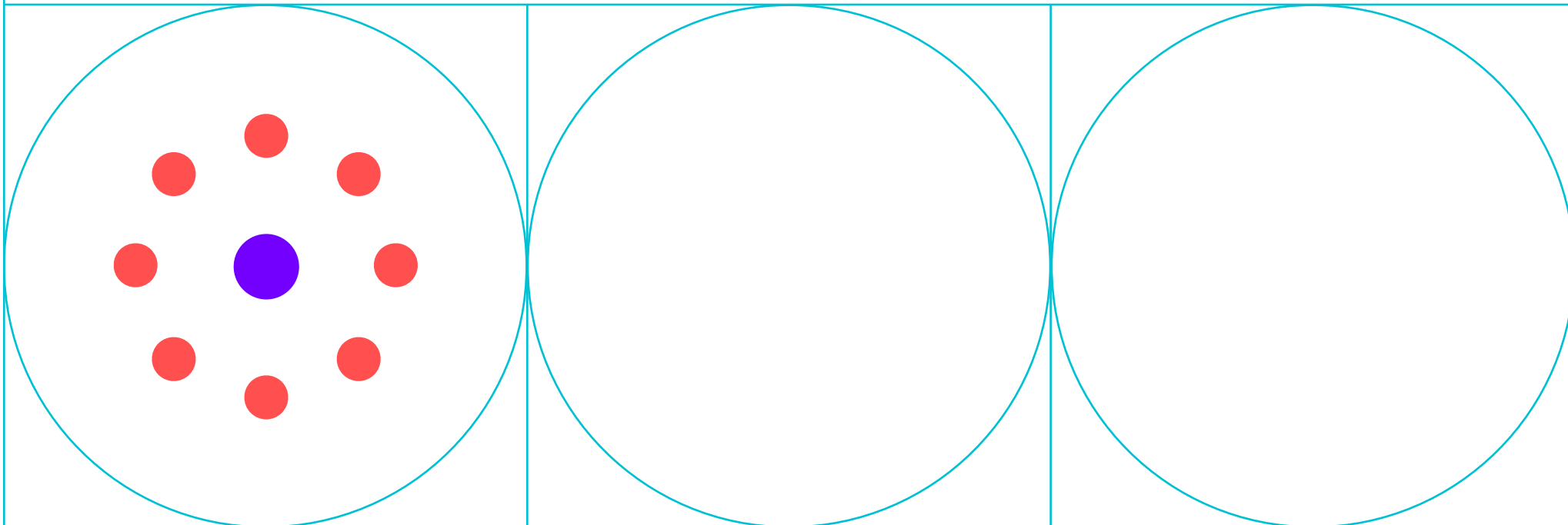
# Nachhaltiger Küstenschutz



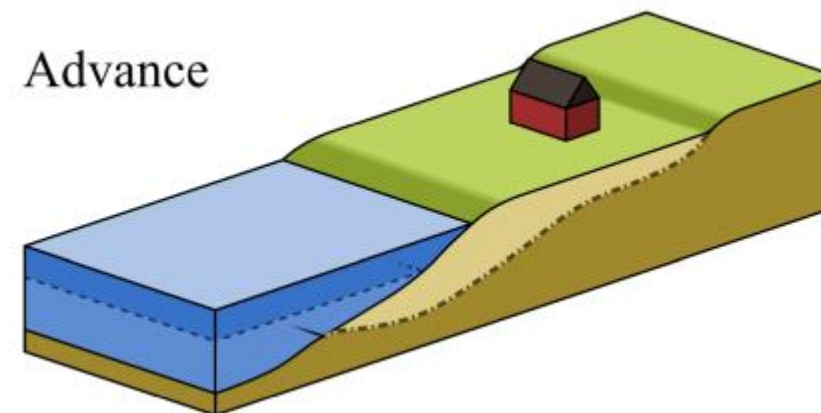
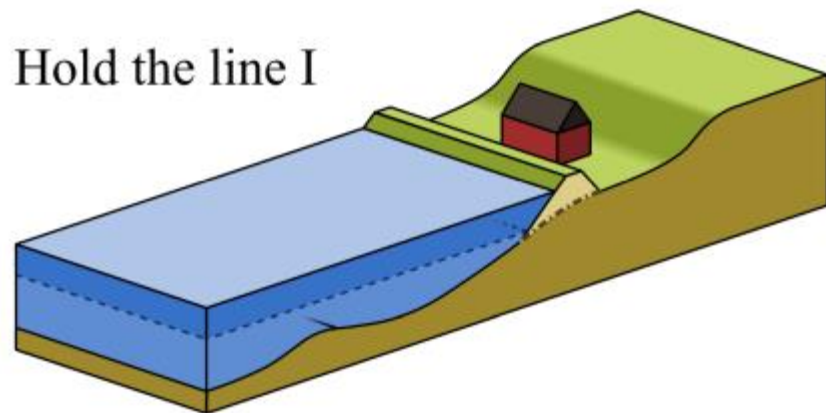
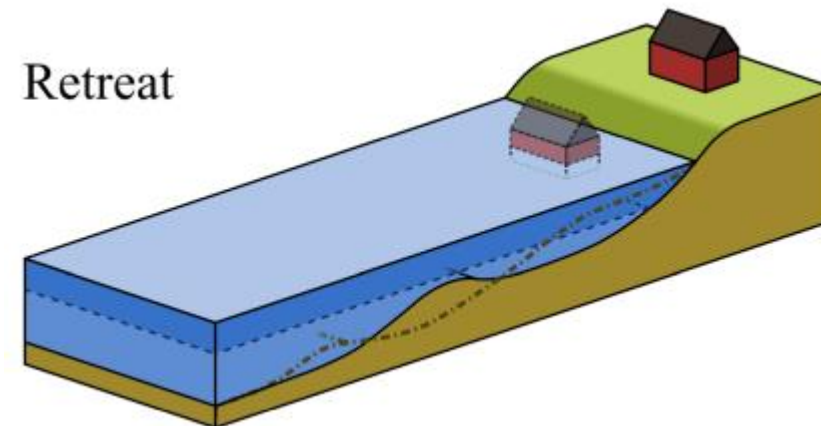
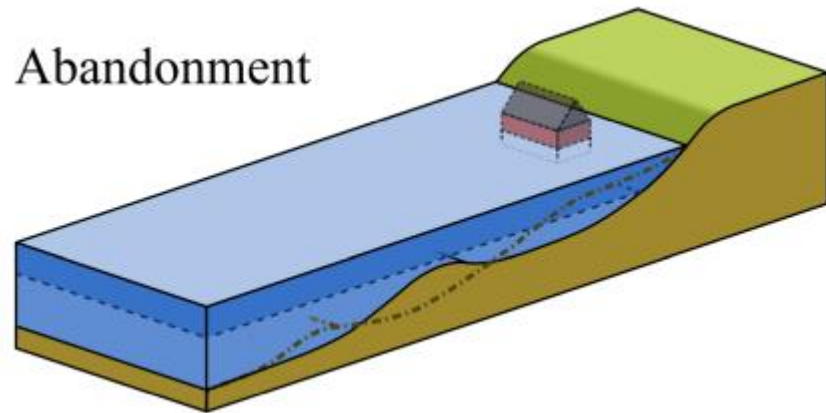
1. Küstenschutzstrategien
2. Küstenschutzplanung
3. Wesentliche Fragestellungen in SH
4. Resiliente und nachhaltige Ansätze
5. Zusammenfassung => Generelle Handlungsempfehlungen

# Küstenschutzstrategien

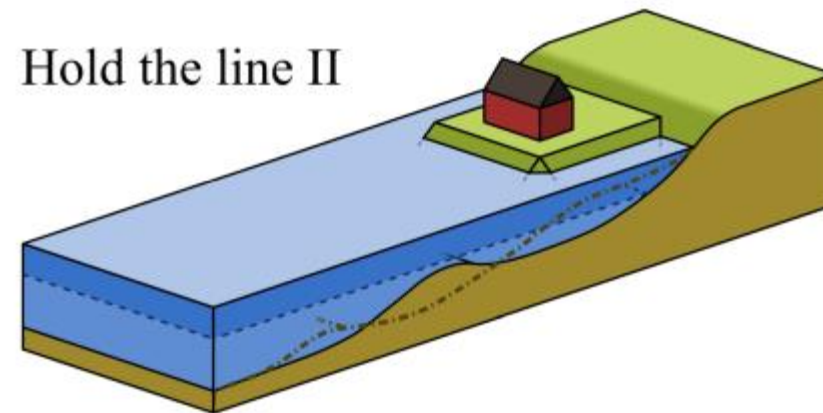
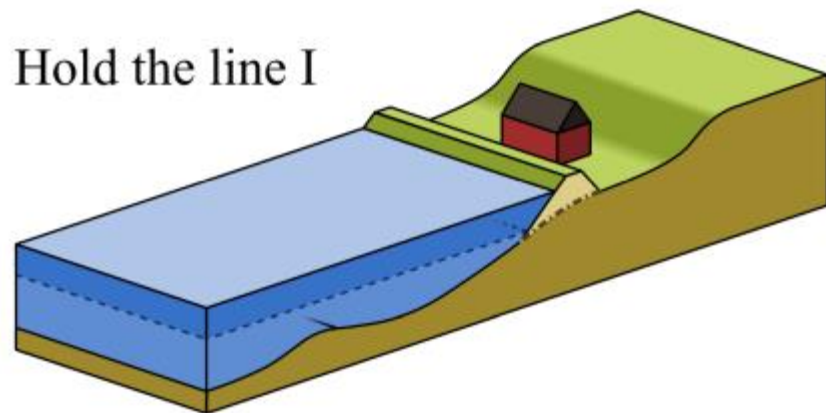
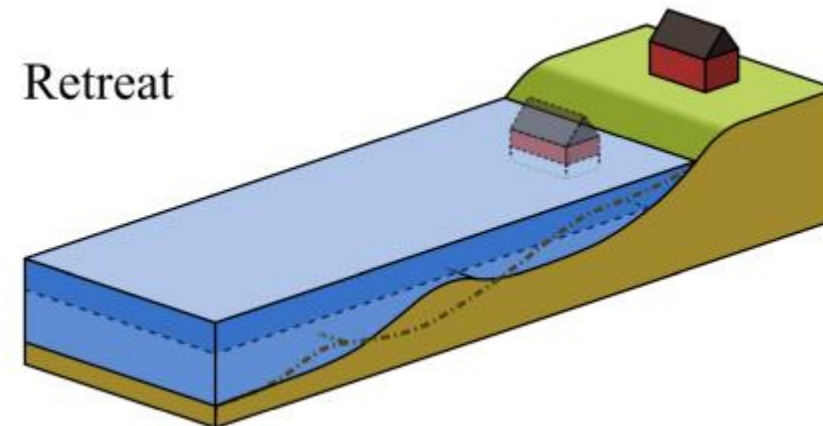
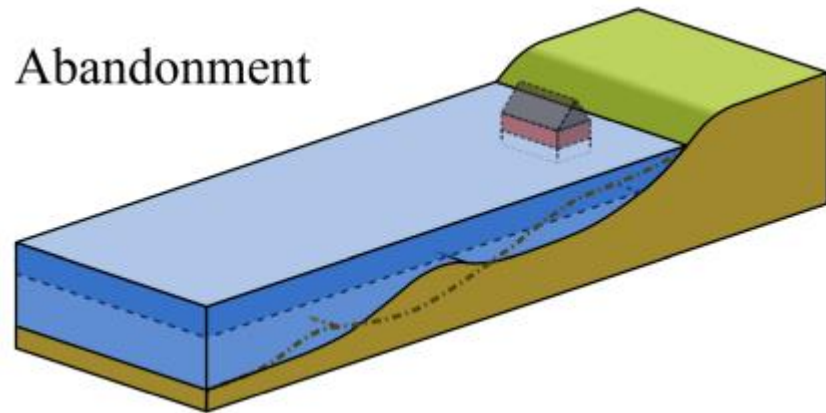
## - grundsätzliche Konzepte



# Küstenschutzstrategien

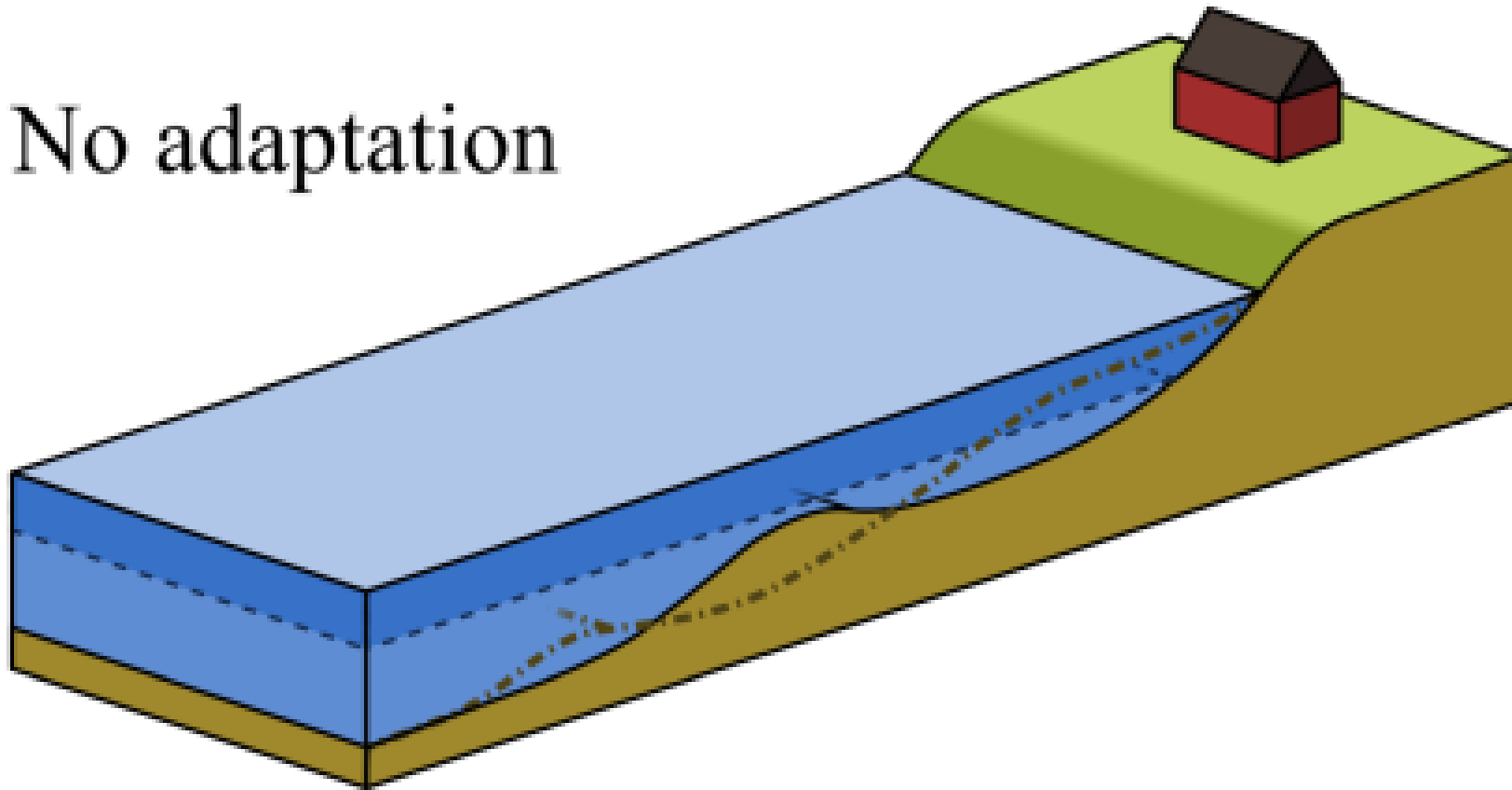


# Küstenschutzstrategien



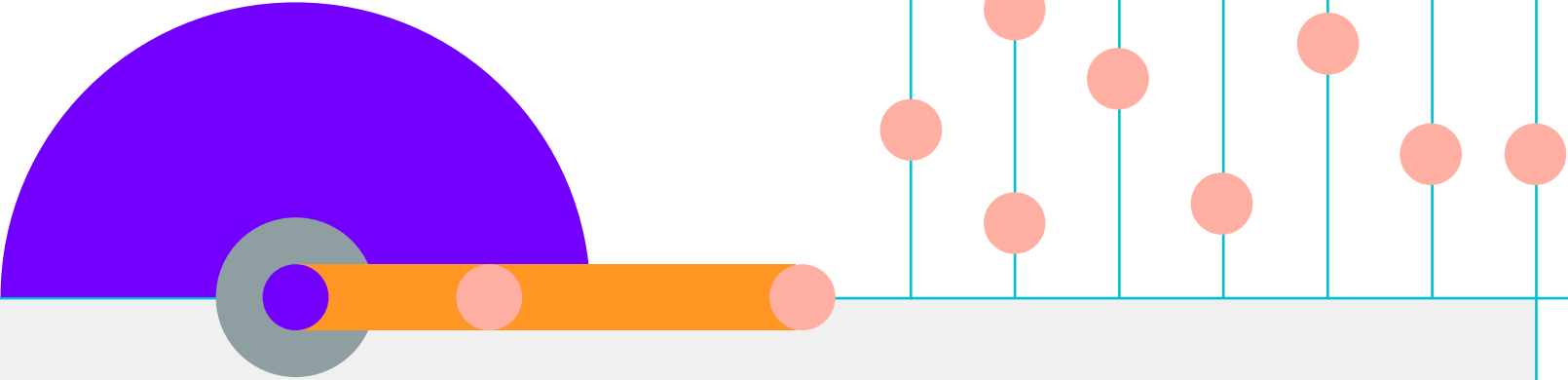
# Küstenschutzstrategien – Raumvorsorge

No adaptation





# Küstenschutzplanung



# Handlungsanforderungen für einen resilienten Küstenschutz

Küstenschutz = Küstenhochwasserschutz + Schutz vor Erosion → Erhalt o. Management der Küstenlinie

- **Zieldefinition:** Definition (und Kommunikation) des Schutzstandards => gegen welche Ereignisse wird aktuell und zukünftig geschützt => Bemessung(sereignisse) und Risiko(bewertung)
- Detaillierte **Analyse** des aktuellen Status des Küstenschutzes und Analyse und Bewertung der zukünftigen Entwicklung(en) der **hydrodynamischen Belastungen** (Wasserstände, Seegang, Strömungen) als Folge des Klimawandels
  - Auswirkungen auf **Hochwasserschutzanlagen** und Schwachstellenanalyse/Sicherheitsanalyse
  - Detaillierte Analyse der **Sedimenttransportpfade** sowie der aktuellen und der möglichen zukünftigen **Küstenentwicklung** und die Wirkung von Bauwerken
- Analyse der Konsequenzen von **Überlastungen** von Bauwerken und der Resilienz von Hochwasserschutzanlagen
- **Entwicklung** („Evolution bewährter Konzepte“) von angepassten und zukunftssicheren Küstenschutzkonzepten
  - **Verstärkung** und Ausbau der Hochwasserschutzanlagen
  - ...
  - **Aufgabe** und natürliche Entwicklung von Räumen

# Handlungsanforderungen für einen resilienten Küstenschutz

Küstenschutz = Küstenhochwasserschutz + Schutz vor Erosion → Erhalt o. Management der Küstenlinie

- **Zieldefinition:** Definition (und Kommunikation) des Schutzstandards, welche Ereignisse wird aktuell und zukünftig geschützt => Bemessung (sereignisse)
- Detaillierte **Analyse** des aktuellen Status des Küstenschutzes und Bewertung der zukünftigen Entwicklung(en) der **hydrodynamischen** (Wellenstände, Seegang, Strömungen) als Folge des Klimawandels
  - Auswirkungen auf **Hochwasserschutz** / Standortanalyse/Sicherheitsanalyse
  - Detaillierte Analyse der **Sedimentation** der aktuellen und der möglichen zukünftigen **Küstenentwicklung** von Bauwerken
- Analyse der Konsequenzen von Bauwerken und der Resilienz von Hochwasserschutz
- **Entwicklung** („Konzepte“) von angepassten und zukunftssicheren Küstenschutz
  - **Verstärkung** der Hochwasserschutzanlagen
  - ...
  - **Aufgabe** und natürliche Entwicklung von Räumen

Projekt Ostseeküste2100

# Wesentliche Fragestellungen im Küstenschutz SH (Regionalkonferenzen)

# Wesentliche Fragestellungen Ostsee Schleswig-Holstein

## Küstenschutzkonferenzen => wichtige Fragestellungen

### Erosive Küstenschutzabschnitte

- Steilufer
- Flachküste
- Übergangsbereiche
- Vorstrandausräumungen vor Deichen / Deckwerke / etc.

### Hochwasserbedrohte Städte / Ortslagen

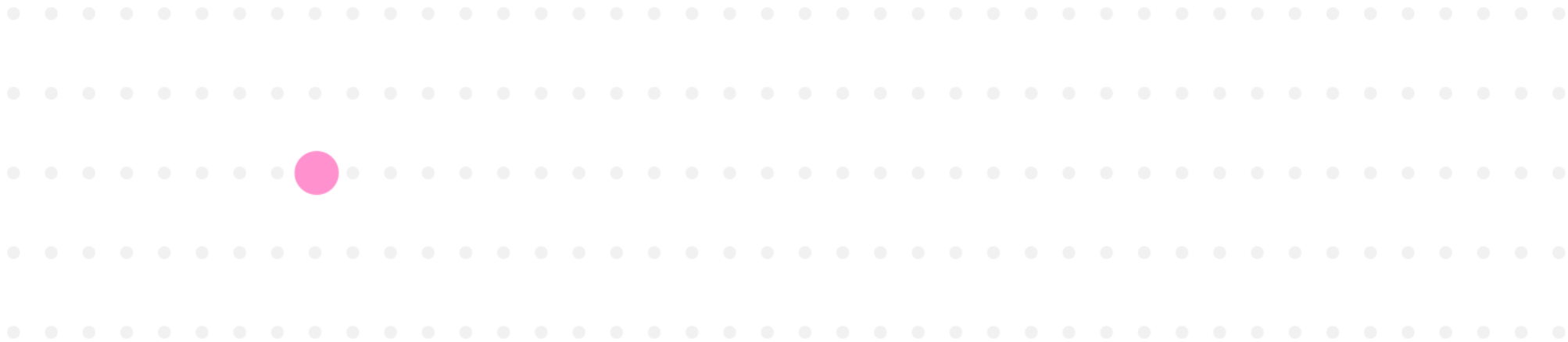
- Arnis / Maasholm / Eckernförde / Lübeck / Flensburg / ...
- (touristische) Infrastrukturen vor Hochwasserschutzanlagen

### Seedeiche / Regionaldeiche vor Niederungen

- Fleckeby / Behrendorf / Klosterseeniederung / ...



# Resiliente und nachhaltige Ansätze



# Resiliente und nachhaltige Ansätze im Küstenschutz SH

## Küstenschutzkonferenzen => wichtige Fragestellungen

### Erosive Küstenschutzabschnitte

- Steilufer
- Flachküste
- Übergangsbereiche
- Vorstrandausträumungen vor Deichen / Deckwerke / etc.



- Erhalt der natürlichen Dynamik und der Sedimentzufuhr
- Wellenbrecher / Bühnen
- Sandvorspülungen
- Deckwerke => Verfelsung
- Geotextile Sandcontainer
- ...

### Hochwasserbedrohte Städte / Ortslagen

- Arnis / Maasholm / Eckernförde / Lübeck / Flensburg / ...
- (touristische) Infrastrukturen vor Hochwasserschutzanlagen



- Verwallungen / Mauern / ...
- Sperrwerke
- Ringdeiche / Warften
- ...

### Seedeiche / Regionaldeiche vor Niederungen

- Fleckeby / Behrendorf / Klosterseeniederung / ...



- Deichverstärkung
- Regionaldeiche => LSDeiche
- Flügeldeiche => Ortslagen
- Öffnung der Niederungen
- ...

# Resiliente und nachhaltige Ansätze im Küstenschutz SH

Küstenschutzkonferenzen => wichtige Fragestellungen

## Erosive Küstenschutzabschnitte

- Steilufer
- Flachküste
- Übergangsbereiche
- Vorstrandausräumungen vor Deichen

## Hochwasserbedrohte Städte /

- Arnis / Maasholm / Fehmarn / ...
- (touristische) Infrastruktur / Wasserschutzanlagen

## Seedeiche / Regionaldeiche / Niederungen

- Fleckeby / Behrendsdorf / Klosterseeniederung / ...

- Erhalt der natürlichen Dynamik und der Sedimentzufuhr
- Wellenbrecher / Bühnen
- Sandvorspülungen
- Sperrwerke => Verfelsung
- Geotextile Sandcontainer

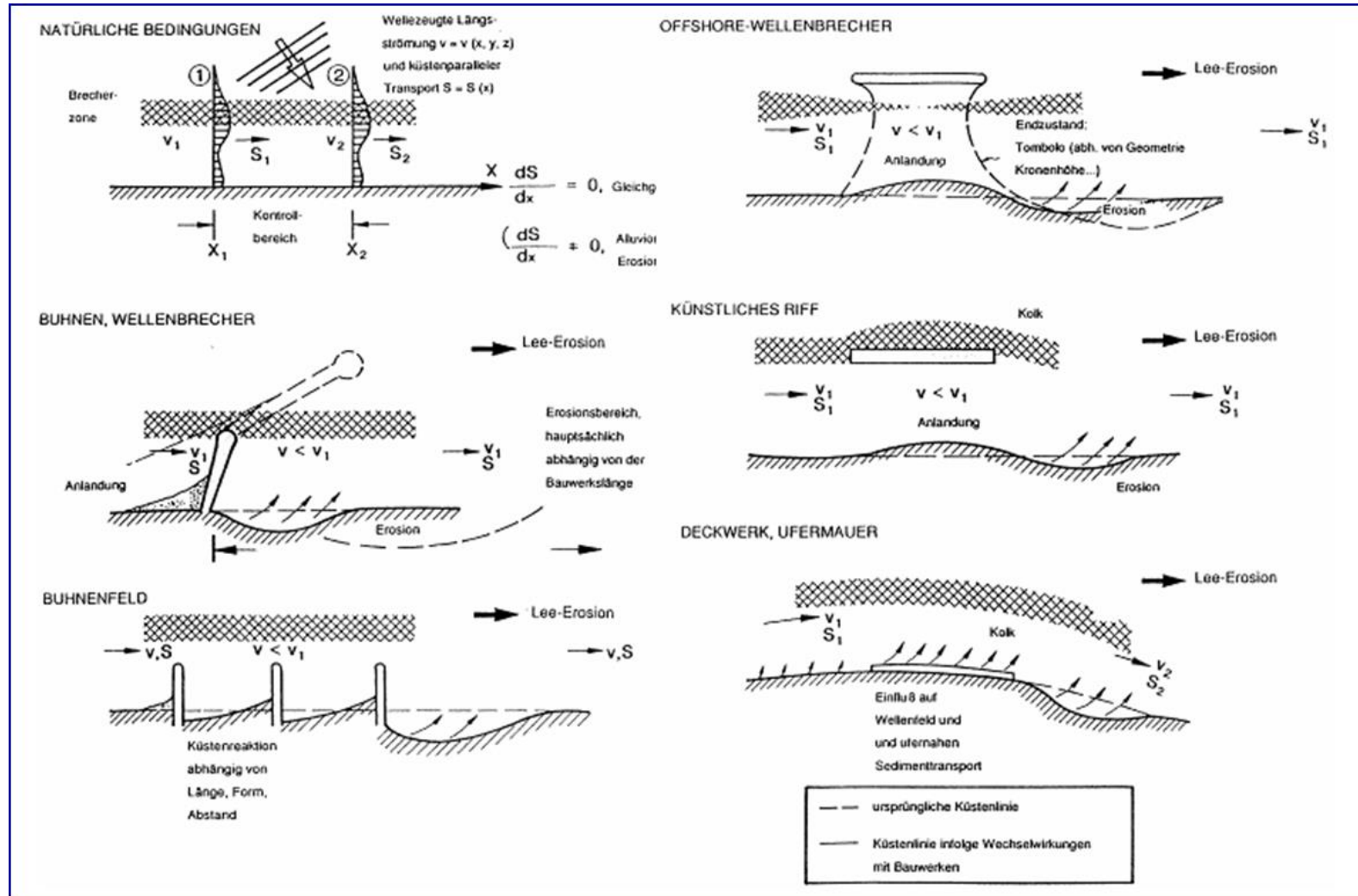
• ...

- Verwallungen / Mauern / ...
- Sperrwerke
- Ringdeiche / Warften
- ...

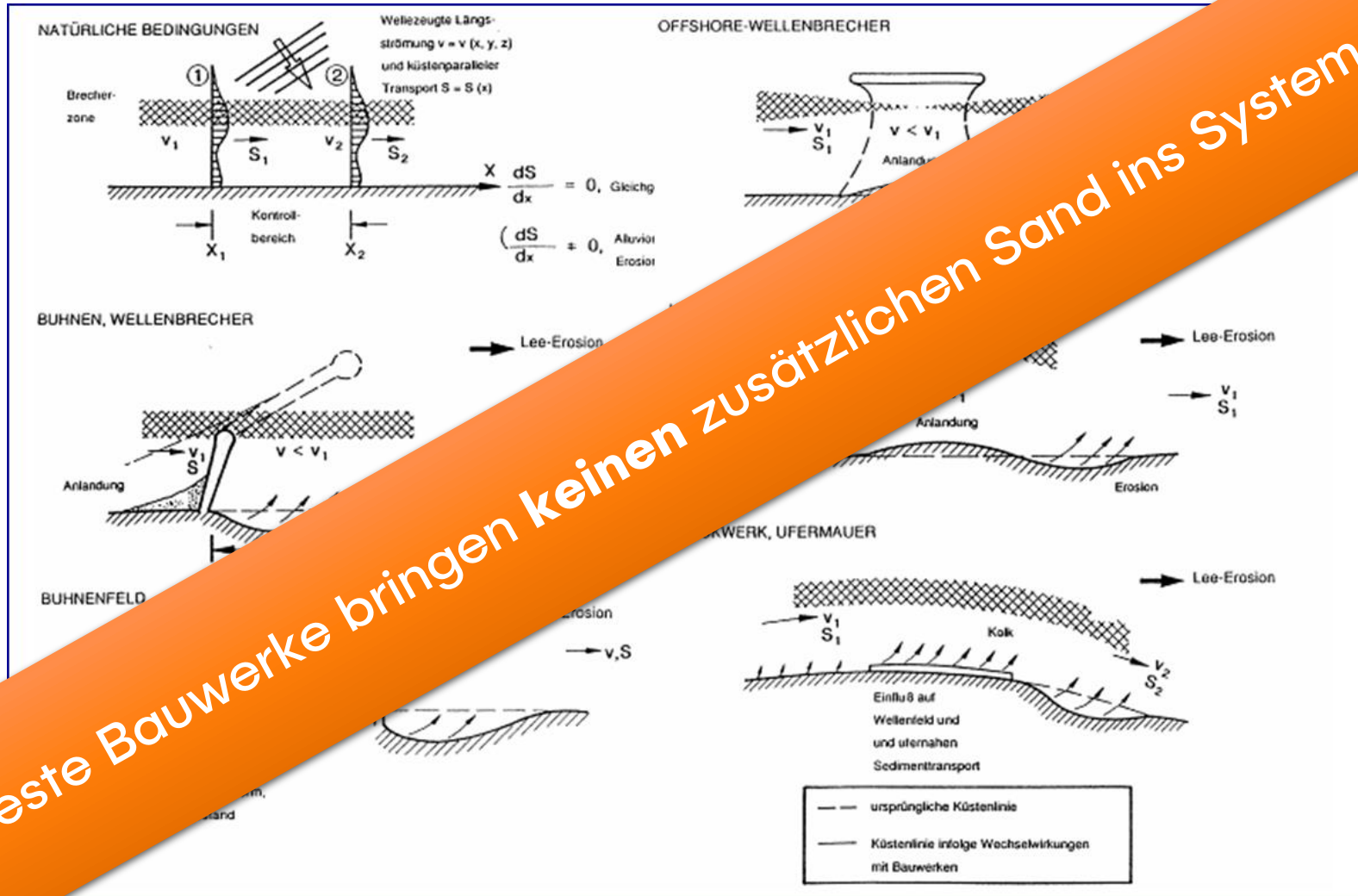
- Deichverstärkung
- Regionaldeiche => LSDeiche
- Flügeldeiche => Ortslagen
- Öffnung der Niederungen
- ...

**Küstenschutz ist eine Daueraufgabe!!!**

# Schutz sandiger / erosiver Küsten (Prinzip)



# Schutz sandiger / erosiver Küsten (Prinzip)

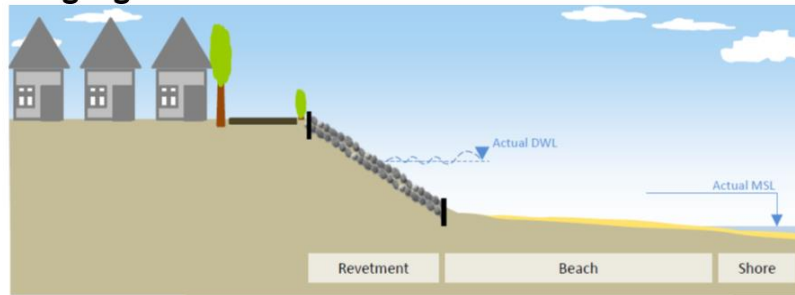


Feste Bauwerke bringen keinen zusätzlichen Sand ins System

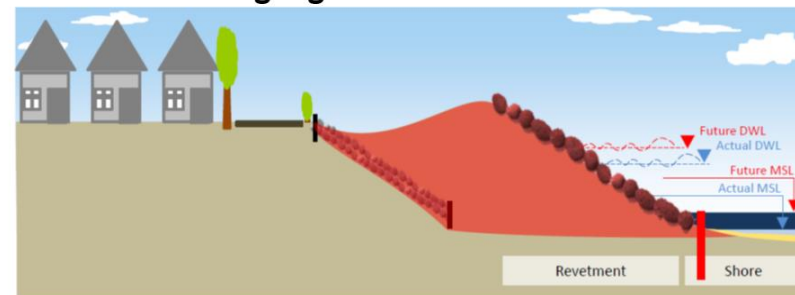
# Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Prinzip)

## Deckwerke und Verfelsung

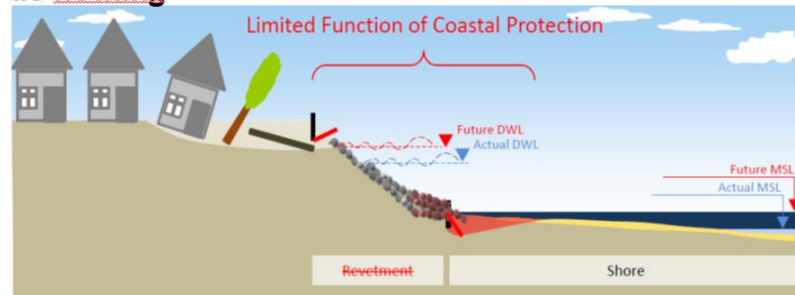
Ausgangssituation



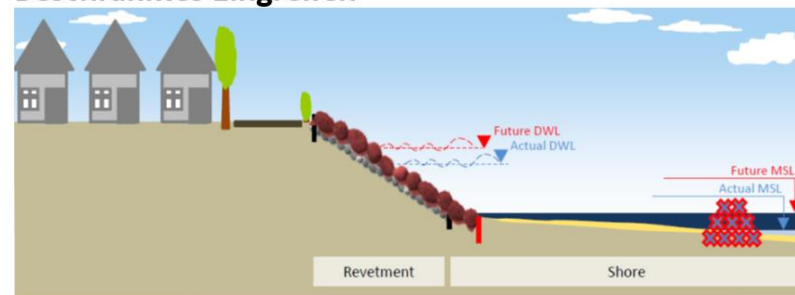
Vorwärtsverteidigung



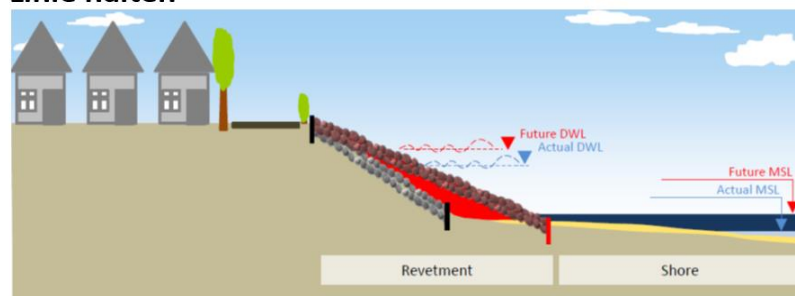
do nothing



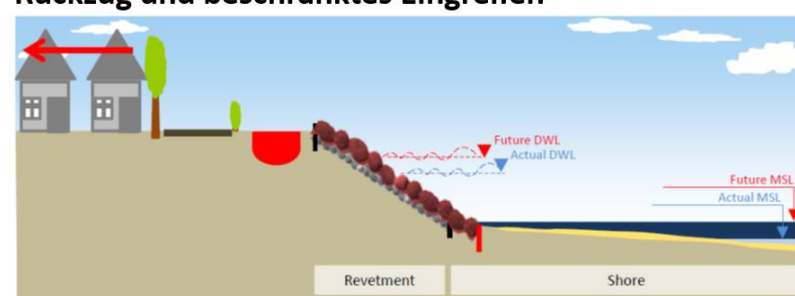
Beschränktes Eingreifen



Linie halten



Rückzug und beschränktes Eingreifen





# Verfelste Küstenline

- Beispiel Süssau  
Rosenfelder Strand





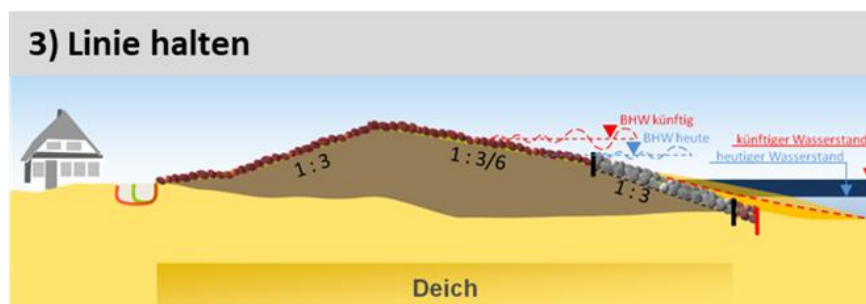
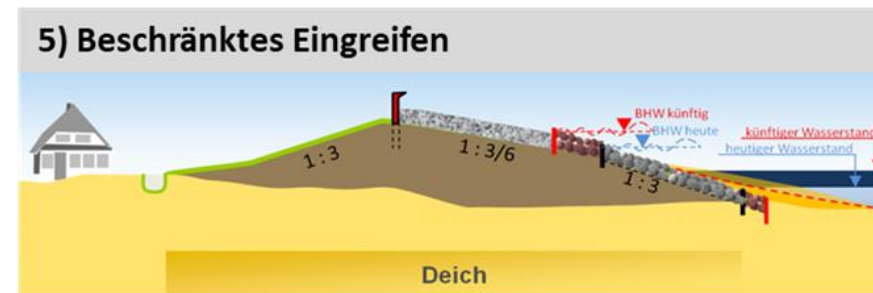
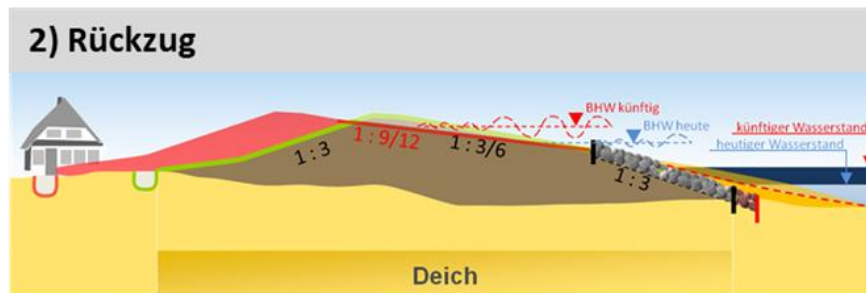
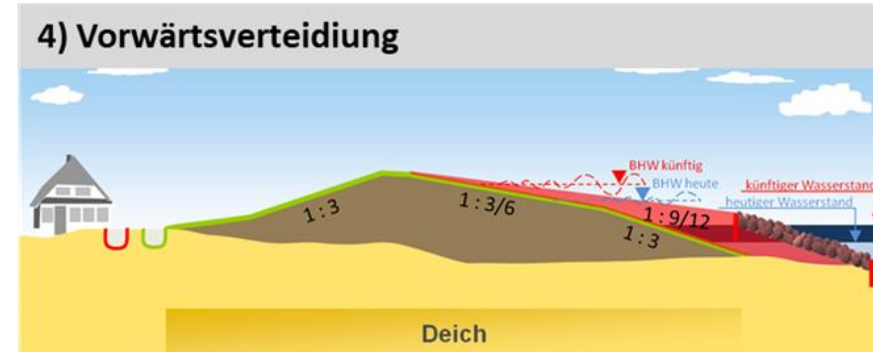
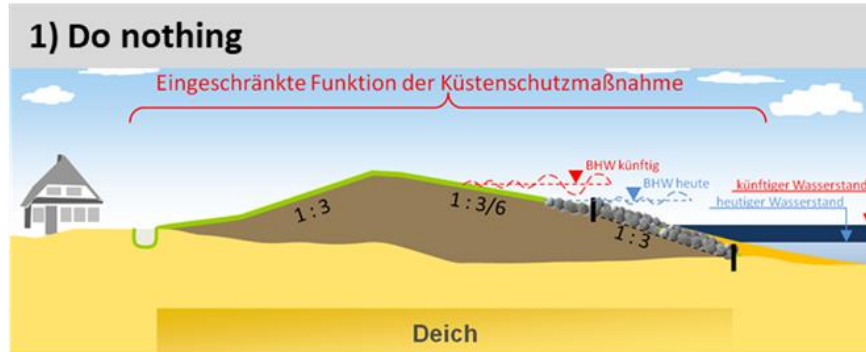
# Verfelste Küstenline

- Beispiel Süssau  
Rosenfelder Strand



# Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Prinzip)

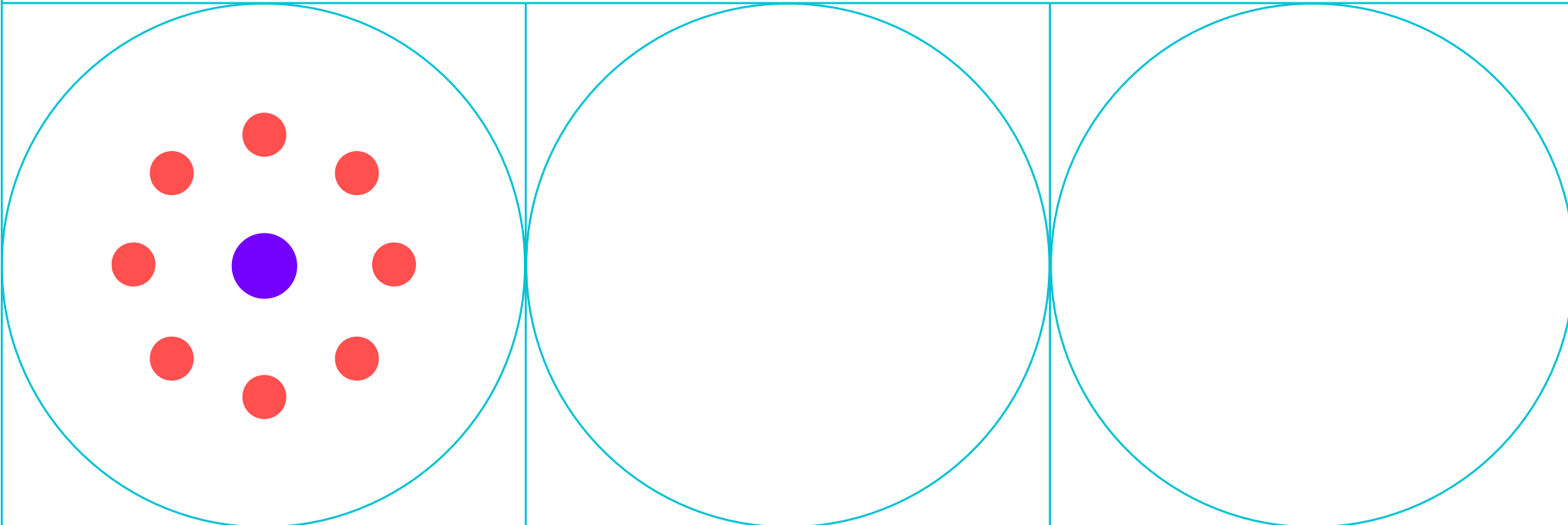
## Deiche



...

Klimzug - RAdOst

# Generelle Handlungsempfehlungen



# Zusammenfassung => generelle Handlungsanforderungen

- **Wissen weiter verbessern**
  - Datenlage => Messungen (zielorientierte Messungen und Messkampagnen) => Messkette  
Klimawandel => Dauermessungen!
  - Theoretische Grundlagen =>
- **Bemessungsgrundlagen definieren (ggfs anpassen)**
  - Bauwerke => nachgeordnete Deiche / Regionaldeiche / Deckwerke / ...  
auch entsprechend bemessen!
- **Küsten sind dynamische Systeme! => Raumvorsorge**
  - Zukünftige Nutzungen in den geschützten Gebieten an den Schutzstandard anpassen
  - Raum für Küstenschutz und Hochwasserschutzanlagen reservieren (Verbesserung der Schutzstandards und Anpassung an die Folgen des Klimawandels)
  - Raum für natürliche Entwicklungen (als Folge des Klimawandels) reservieren
- **Küstenschutz implementieren**
  - Bewehrte Ansätze und Lösungen evolutionär weiterentwickeln
  - In Ortslagen und Städten angepasste Lösungen finden und implementieren
  - Bei Gefährdungslagen als Folge von Erosion => lokaler oder großräumiger Erosionsschutz
- **Risikobewertung bei und nach Überlastung von Bauwerken**
  - Resilienz im Küstenraum verbessern



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



Küstenschutzsystem Streckelsberg – Insel Usedom (Foto B. Gurwell)