

## KFKI-Forschungsvorhaben

# *AMSeL*

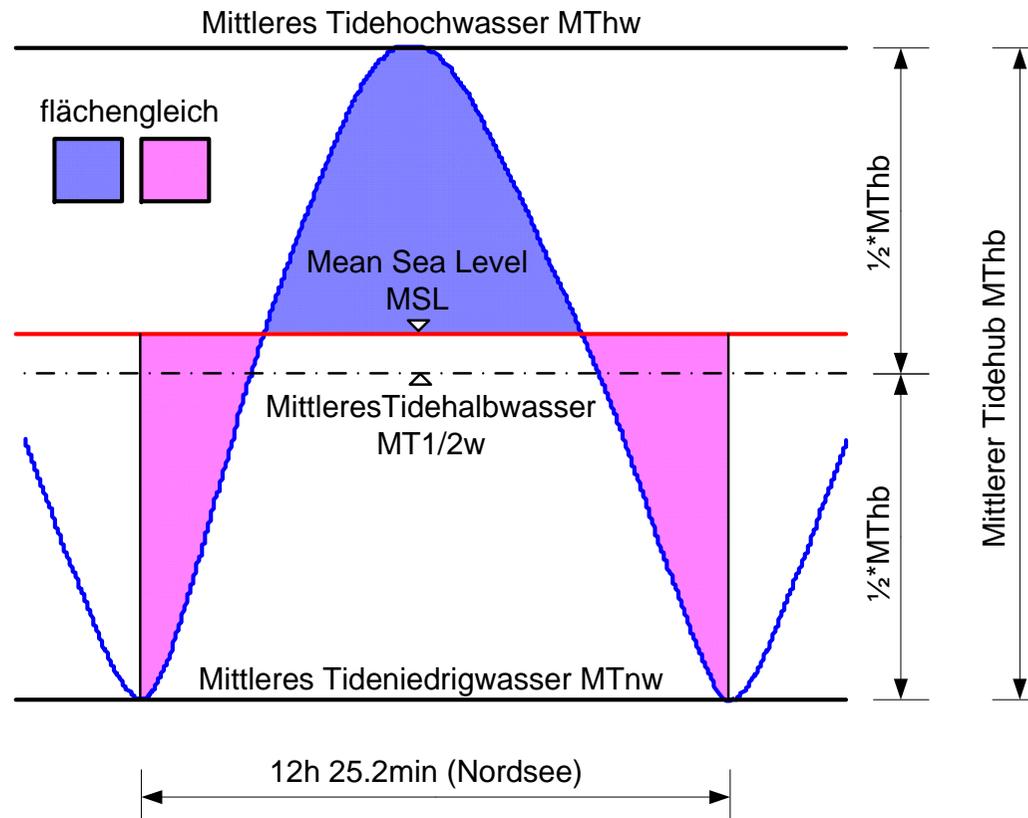
Analyse von hochaufgelösten Tidewasserständen und Ermittlung  
des MSL an der deutschen Nordseeküste (03 KIS 068)

Jürgen Jensen, Torsten Frank und Thomas Wahl



- ➔ Motivation
- ➔ Untersuchungsgebiet und Datengrundlage
- ➔ Ermittlung und Analyse von MSL-Zeitreihen
- ➔ Vorläufige Ergebnisse
- ➔ Berücksichtigung von Vertikalbewegungen
- ➔ Verweilzeiten
- ➔ Tideketten
- ➔ Ausblick

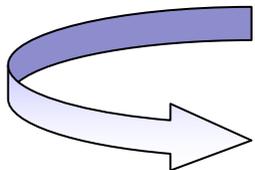
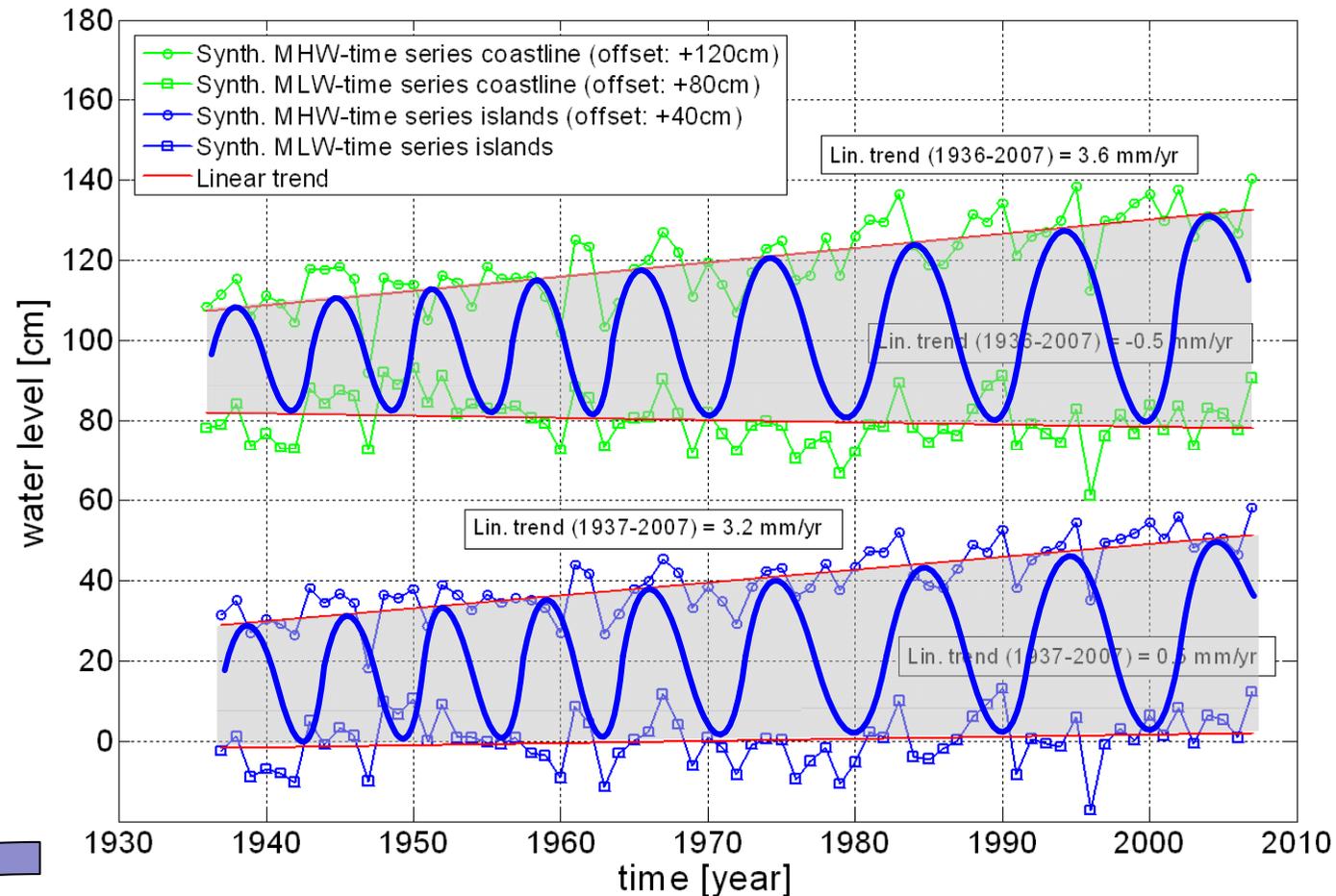
- ➔ Die Spezifikation eines Mean Sea Level (MSL), als wichtige Vergleichsgröße, hat in Deutschland keine Tradition



- ➔ Ziel des Projektes AMSeL ist die Analyse der beobachteten Änderungen des MSL und der Tidedynamik

- ➔ Auf Basis der Analysen können z.B. Szenarien für die nahe Zukunft (2-3 Dekaden) abgeleitet und Modellergebnisse verifiziert werden

## Entwicklung von MThw und MTnw

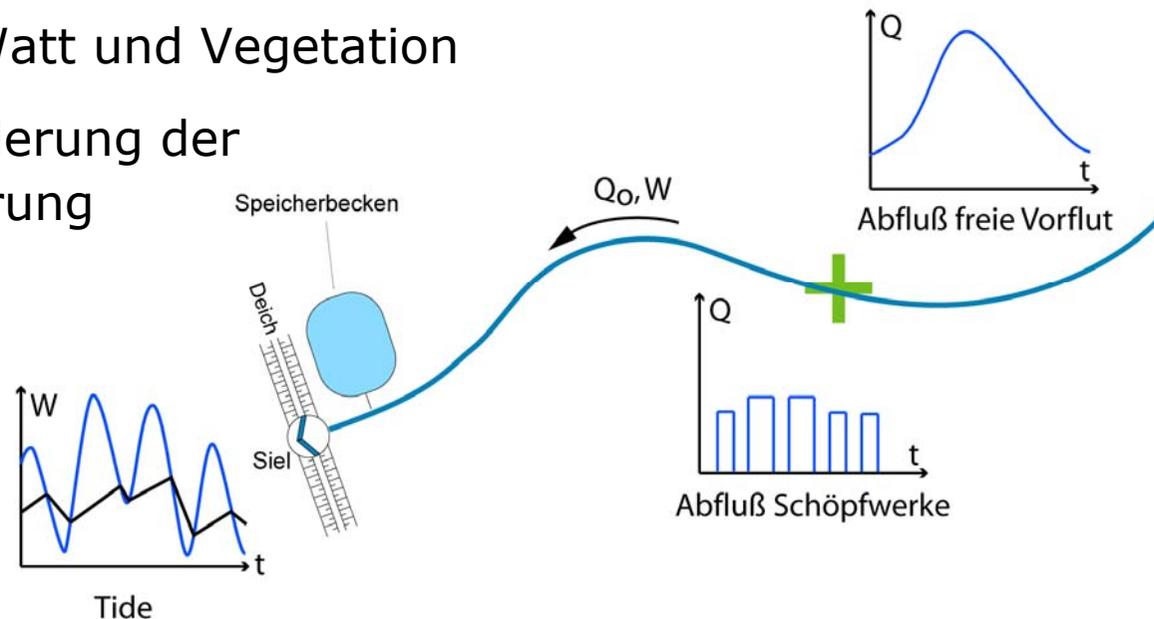


Wie verhält sich der Mean Sea Level ???

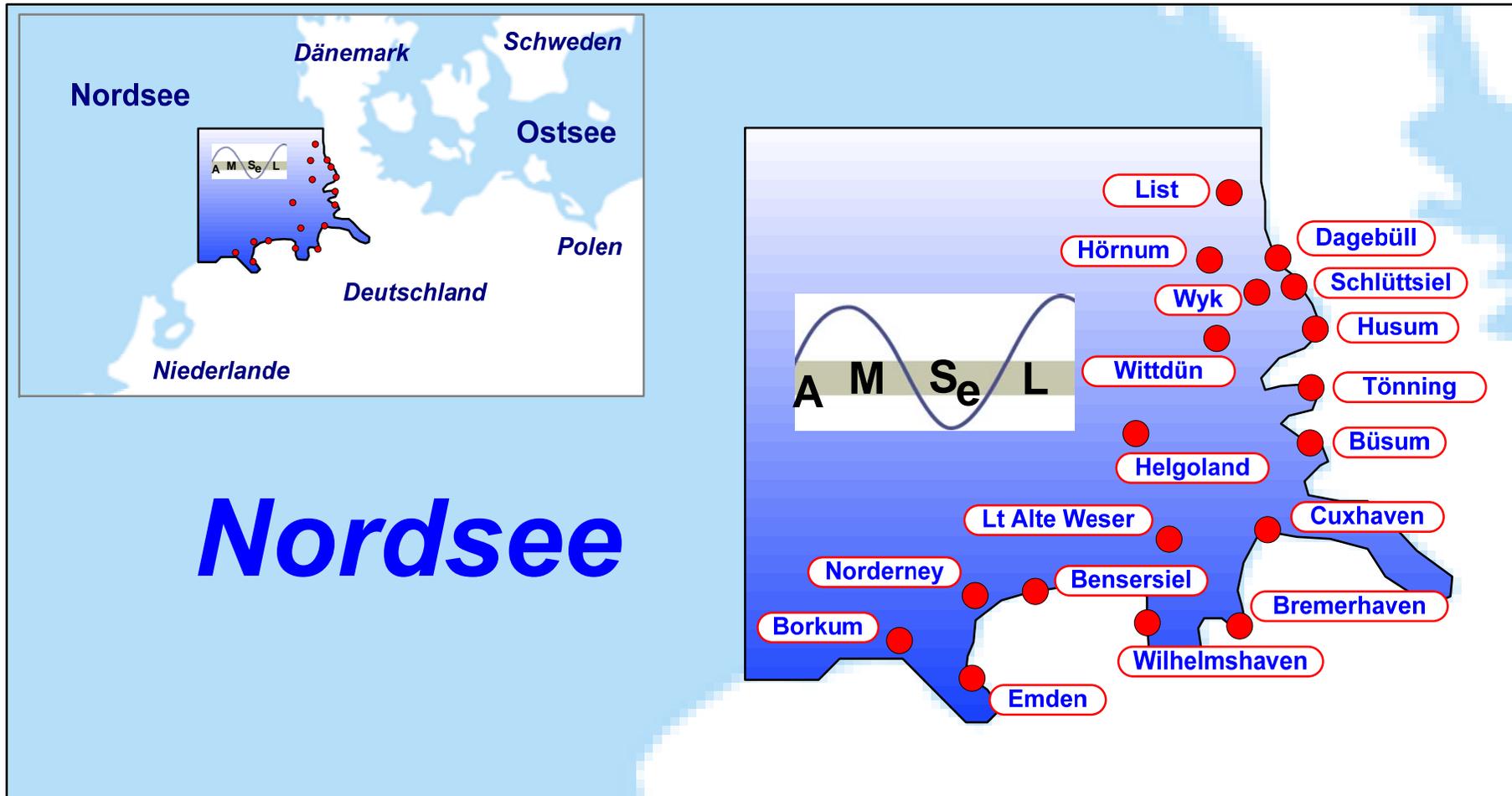
und: **wie verhält sich der Wasserstand bzw. die Bandbreite der Wasserstandsänderungen innerhalb einer und über mehrere Tiden hinweg?**

## in Form von Verweilzeiten und Tideketten

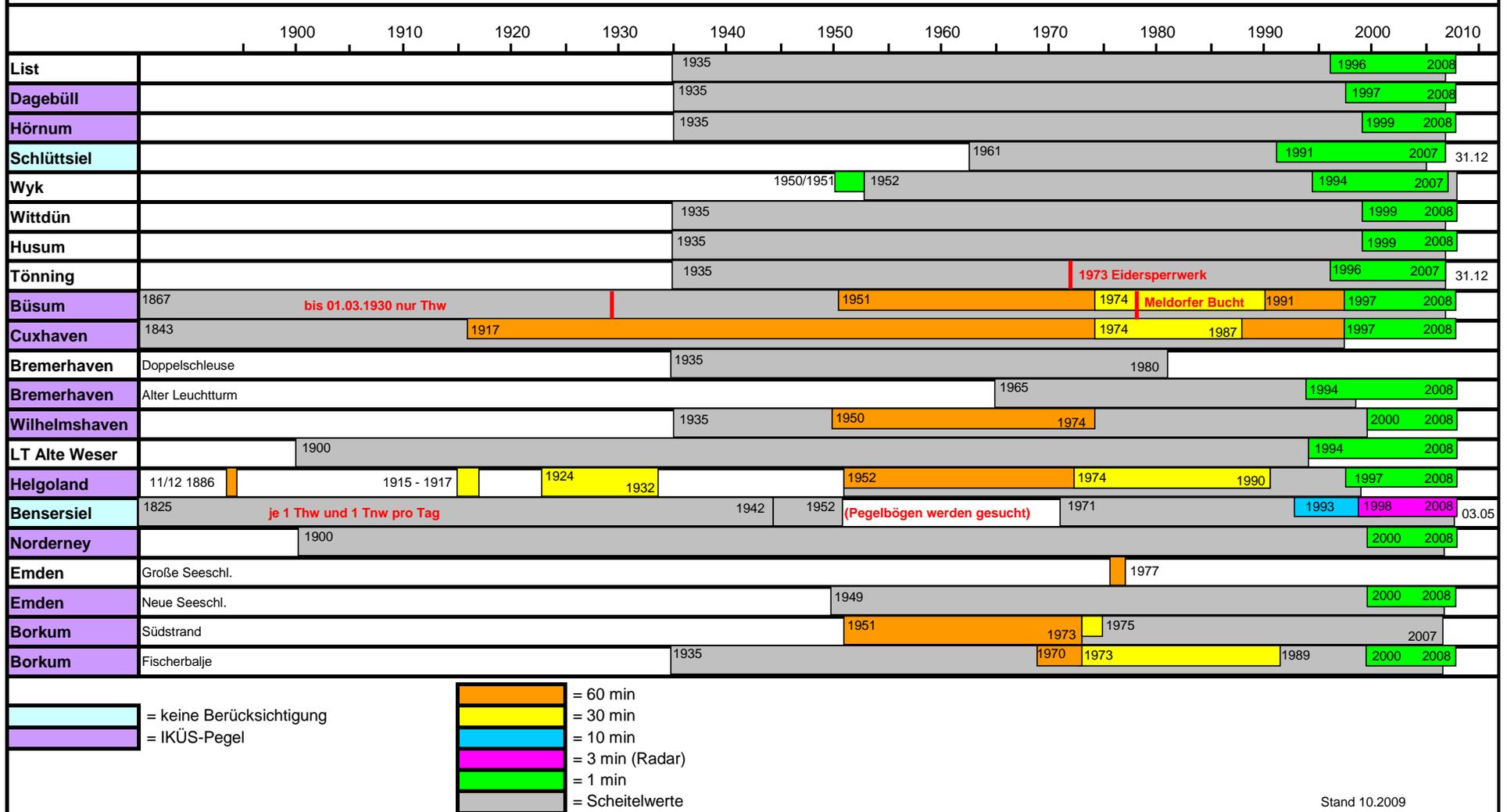
- ➔ Einteilung der Schwere einer Sturmflut
- ➔ Belastung auf Küsten, Strände, Deckwerke, Deiche etc.
- ➔ Exposition von Watt und Vegetation
- ➔ Be- oder Verhinderung der Binnenentwässerung



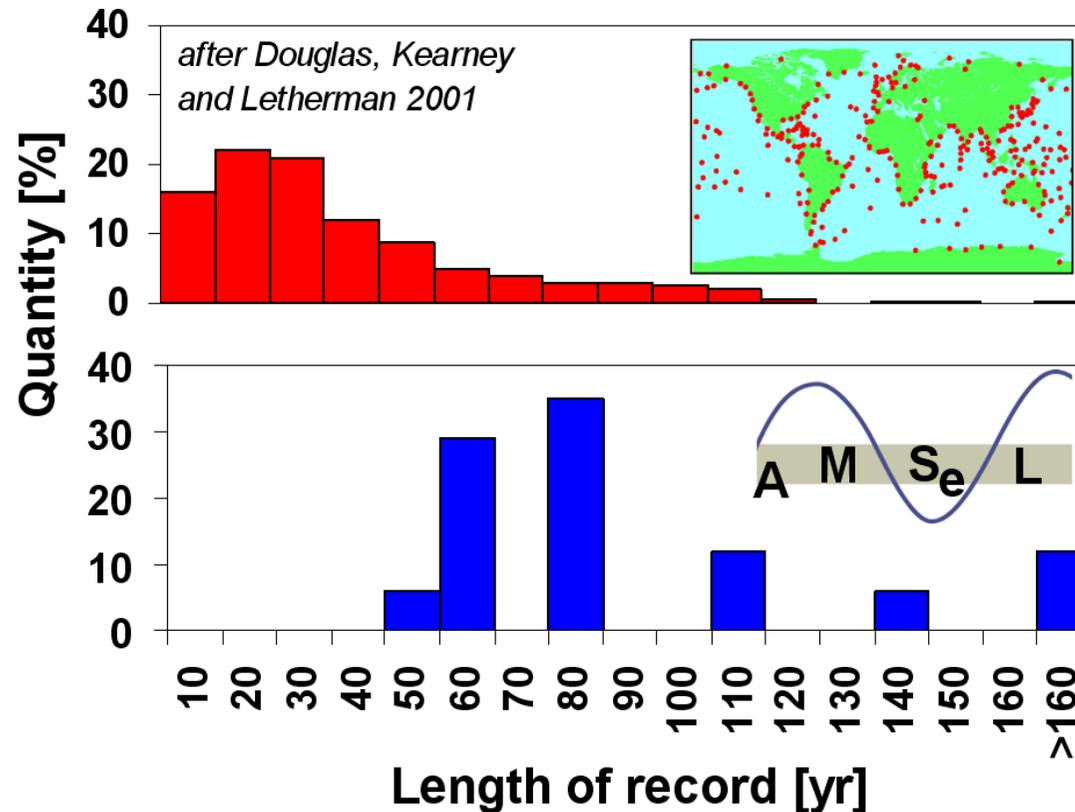
## Untersuchungsgebiet



## Übersicht über derzeit vorhandene Daten, der im Projekt AMSeL zur Untersuchung vorgesehenen Pegel

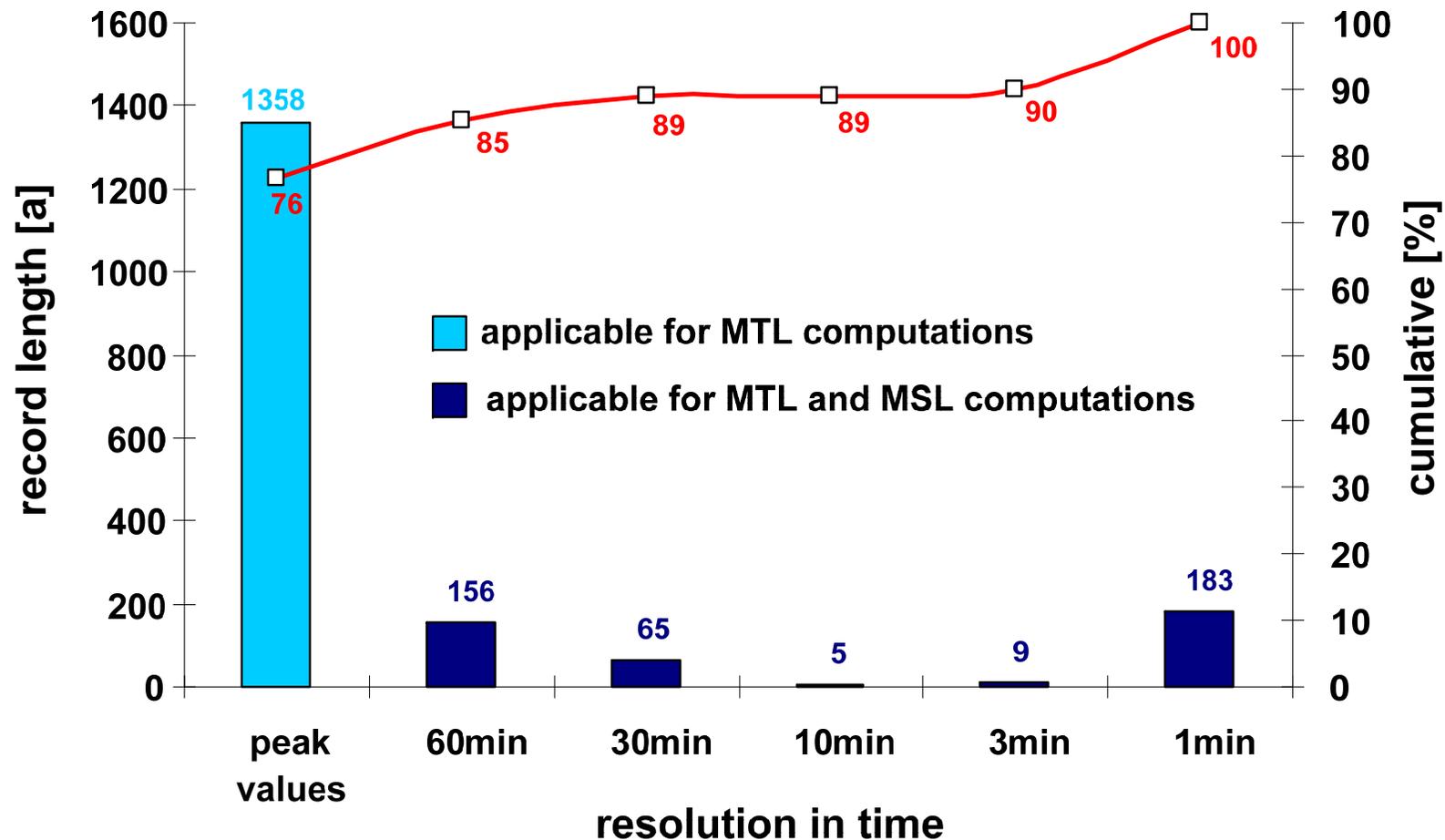


## Datenbasis weltweit im Vergleich zu AMSeL



**Problem:** Zeiträume, für die hochaufgelöste Daten (mind. Stundenwerte) digital vorliegen, sind häufig auf 10 bis 15 Jahre begrenzt

## Datenbasis und zeitliche Auflösung

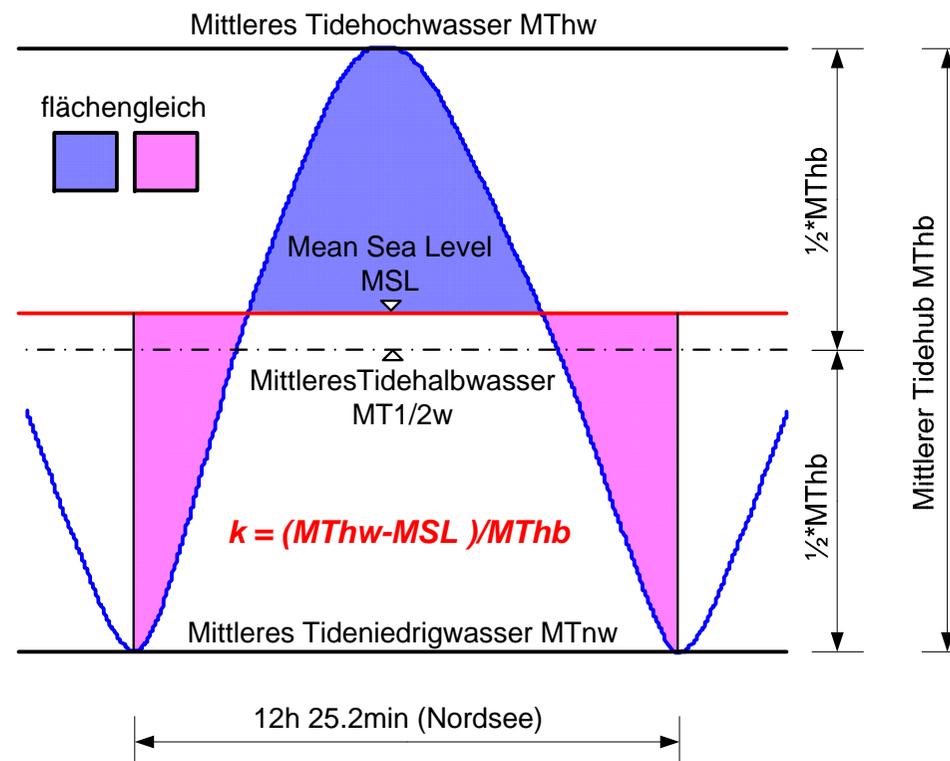


## Datenbasis für Wasserstandsanalysen

- ➔ **Jensen (1984):**  **$1,30 \cdot 10^3$  Datensätze**  
Änderung der mittleren Tidewasserstände an der  
Deutschen Nordseeküste  
(hauptsächlich Jahresmittelwerte)
- ➔ **KFKI-Projekt 27 (1986-1990):**  **$2,80 \cdot 10^5$  Datensätze**  
Wasserstandsentwicklung in der Deutschen Bucht  
(hauptsächlich Tidescheitelwerte)
- ➔ **KFKI-Projekt 97 (2007-2010):**  **$1,01 \cdot 10^8$  Datensätze**  
AMSeL  
(Tidescheitelwerte + hochaufgelöste Daten)

## K-Faktor Methode

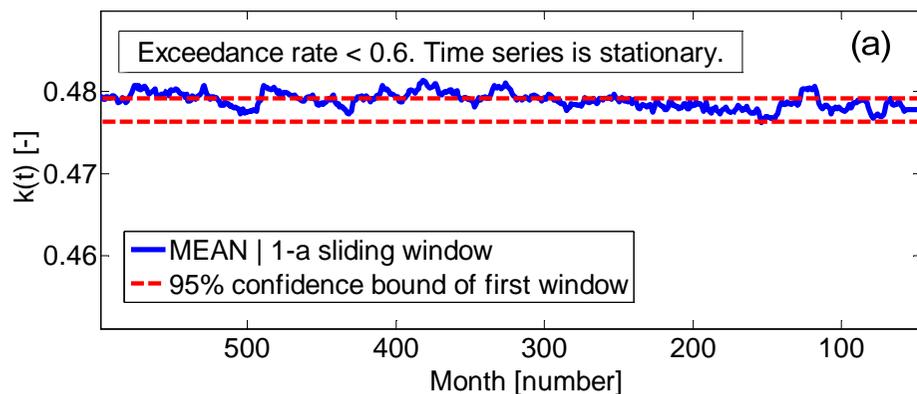
- Der dimensionslose und ortsabhängige Parameter  $k$  beschreibt die Abweichung des MSL vom Tidehalbwasser ( $MT_{1/2w}$ )
- Bietet die Möglichkeit, die langen verfügbaren Scheitelwertzeitreihen für MSL-Untersuchungen nutzbar zu machen



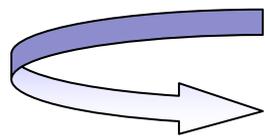
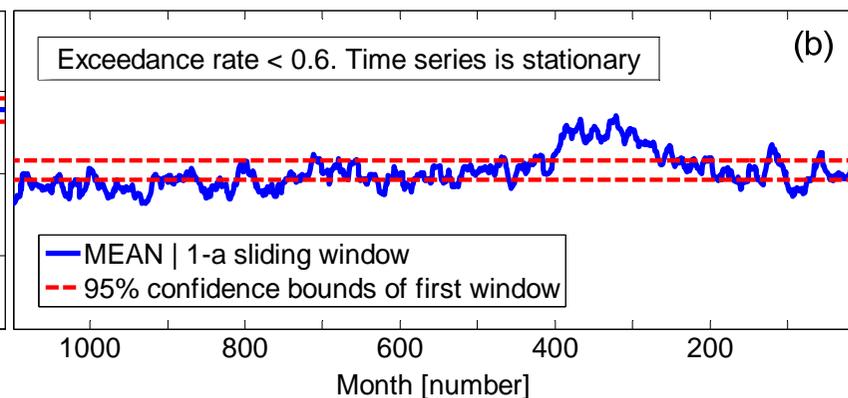
## Test der k-Faktor Zeitreihe auf Stationarität

- ➔ „Sliding Window Test“ und „Kolmogorov-Smirnov-Test“ mit 1-jährigem gleitenden Mittel zur Berücksichtigung saisonaler Schwankungen

### Helgoland



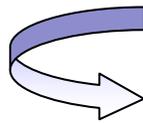
### Cuxhaven



**k ist für beide Pegel als stationär anzunehmen!**

## Grundsätzlich existieren zwei Ansätze zur (Trend-)Analyse

- Anpassung parametrischer Funktionen (Polynom 1. Grades, Polynom 2. Grades, Exponentielle Funktion etc.)

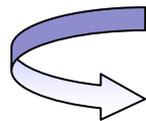


*z.T. schlechte Anpassung*

*Ermittlung von Trends*

*Extrapolation möglich*

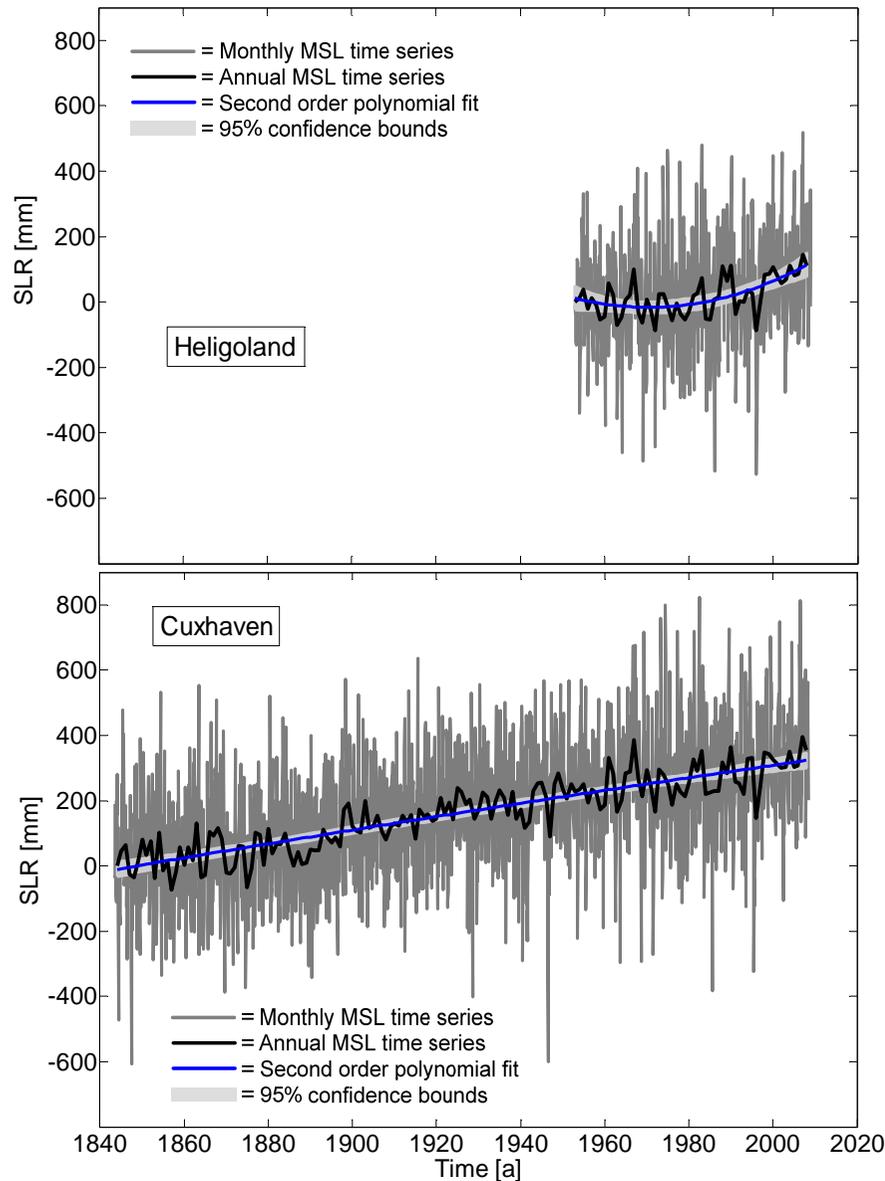
- Anpassung nicht parametrischer Funktionen (Gleitende Mittel, Gleitende lineare Trends, Singuläre Systemanalyse, Tiefpassfilter, Splines, Fourieranalysen etc.)



*i.d.R. gute Anpassung*

*Detektion von Periodizitäten und  
Trendveränderungen*

*Keine Extrapolation möglich*



## Anpassung parametrischer Funktionen

➔ Mittlere Fehler (Cuxhaven<sub>1844-2008</sub>):

- Lineare Fkt.: 26,52 cm

- **Quad. Fkt.:** **26,42 cm**

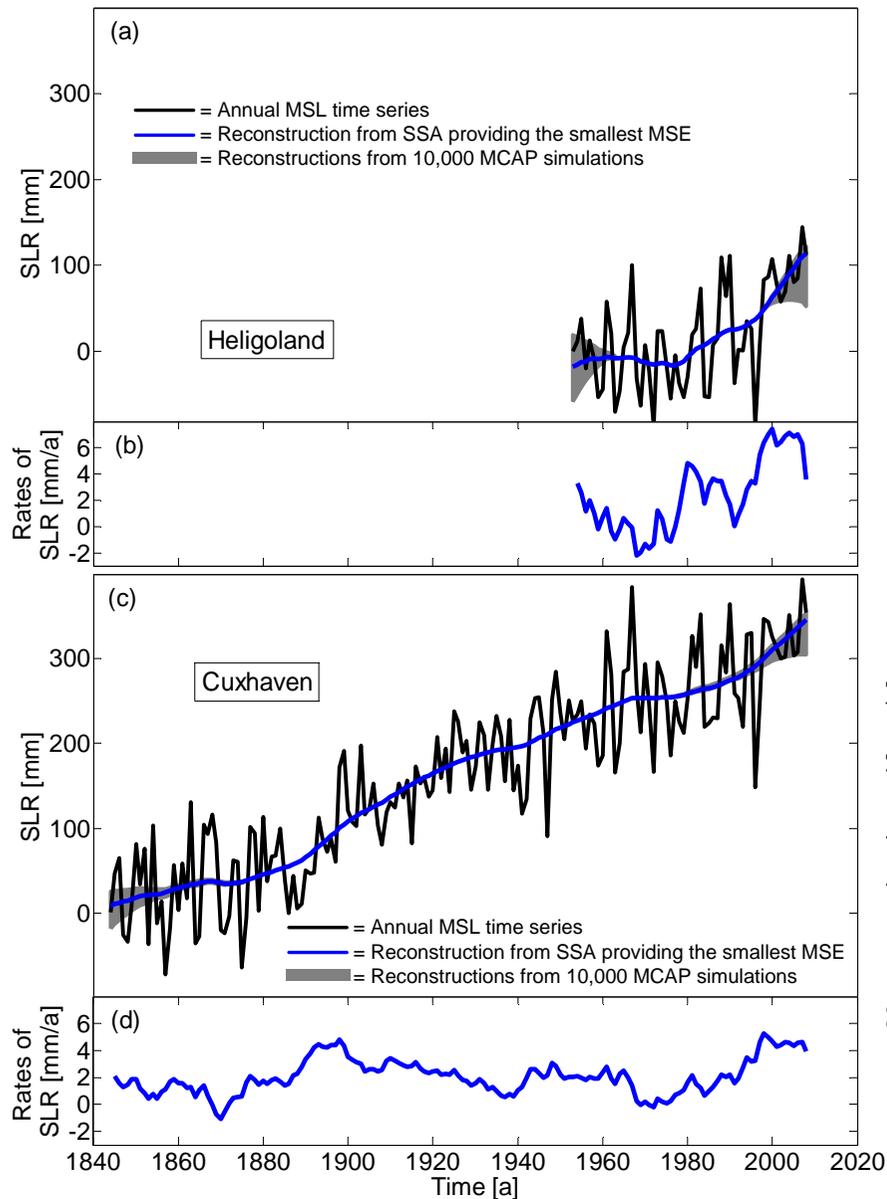
- Exp. Fkt.: 28,09 cm

➔ Lineare Trends:

**Hel<sub>1953-2008</sub>: 1,85 ± 0,42 mm/a**

**Cux<sub>1953-2008</sub>: 1,81 ± 0,04 mm/a**

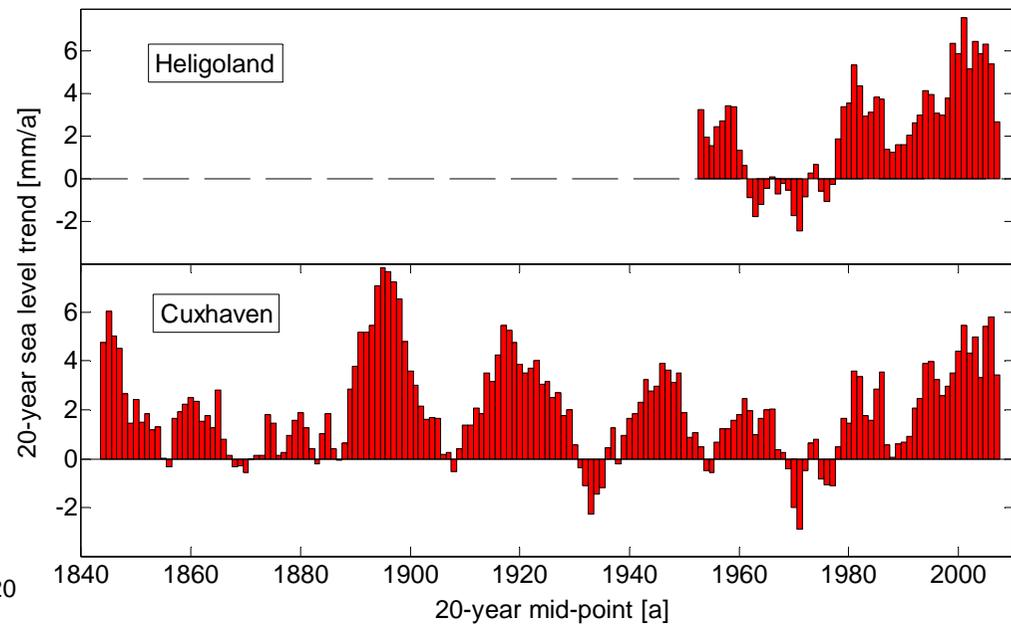
**Cux<sub>1844-2008</sub>: 2,03 ± 0,08 mm/a**



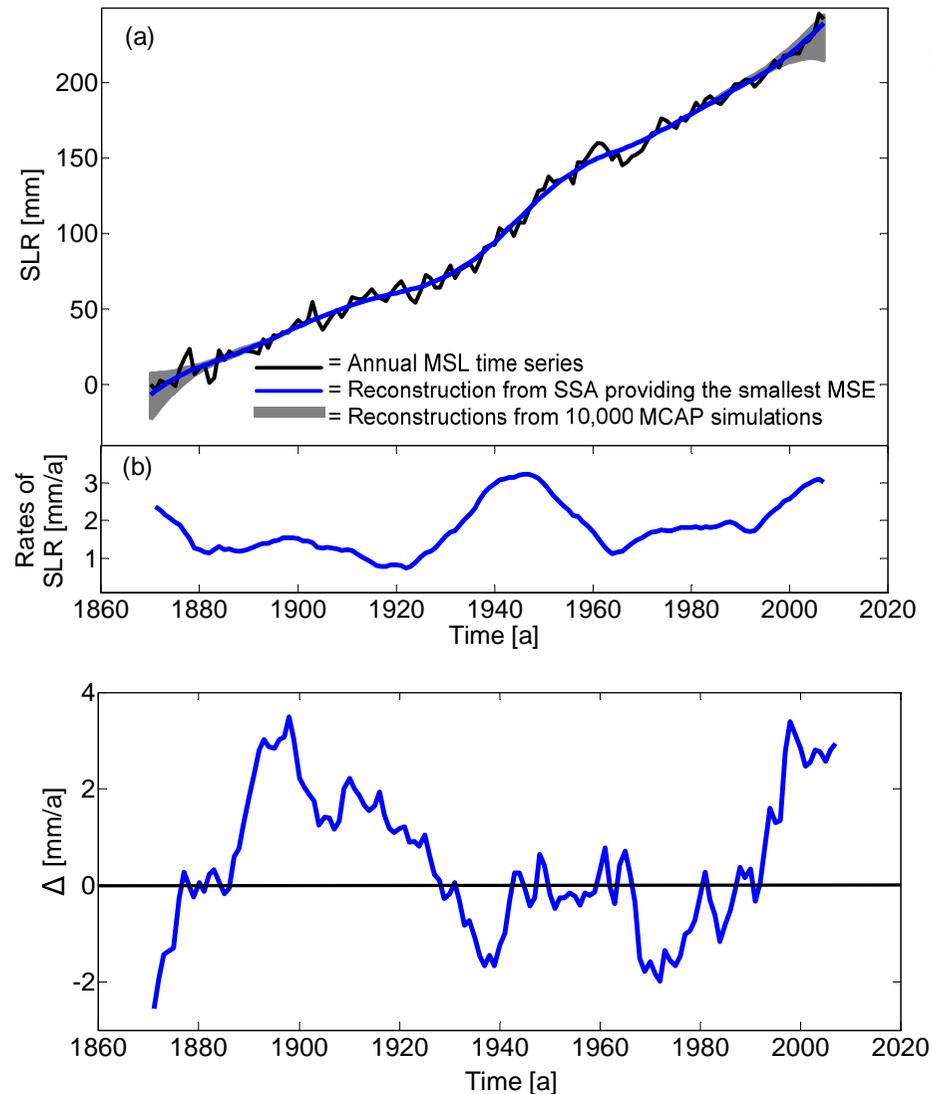
## Anpassung nicht parametrischer Funktionen

➔ Mittlere Fehler (Cuxhaven):

- SSA-MCAP: 23,60 cm



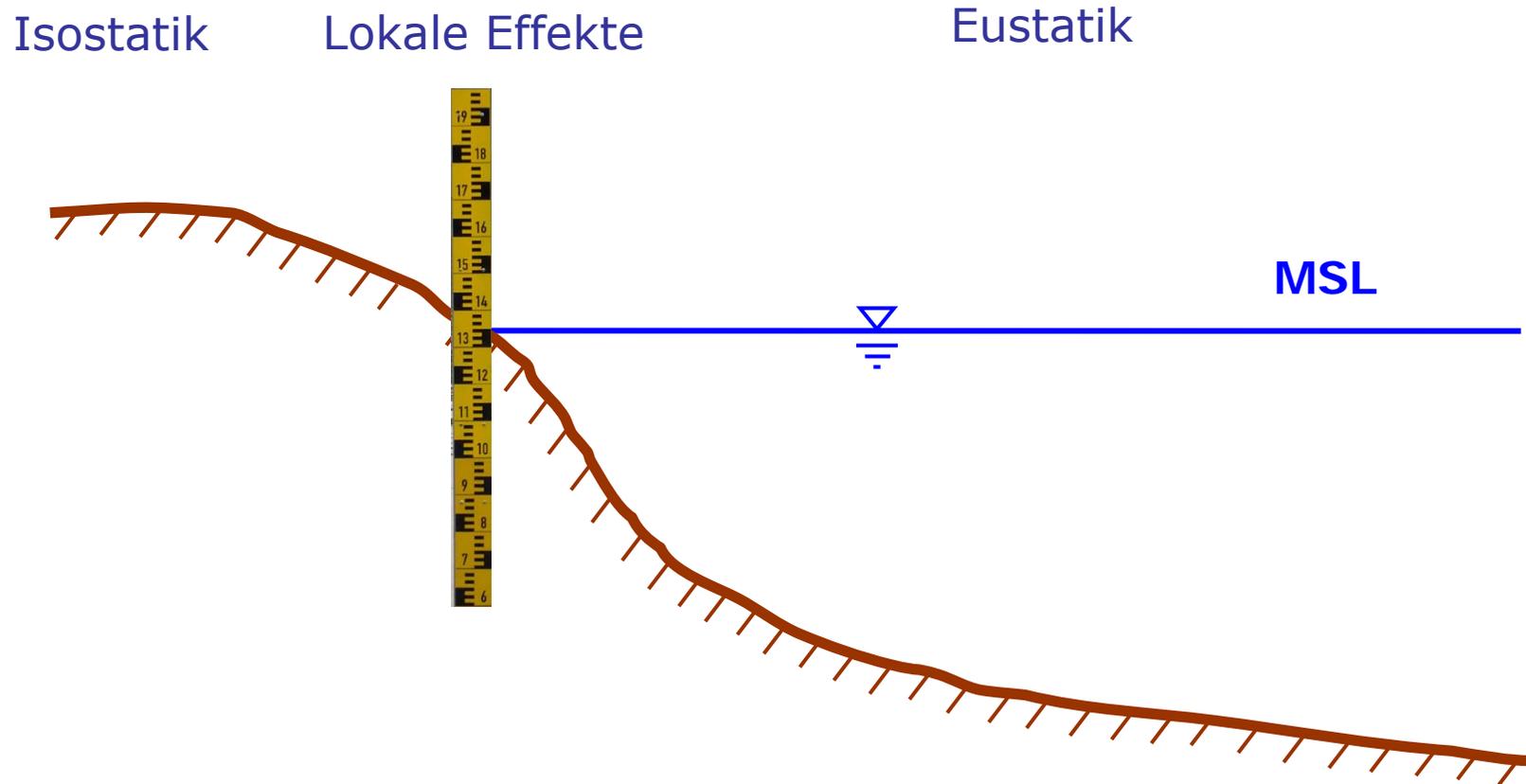
## Vergleich mit globalem MSL

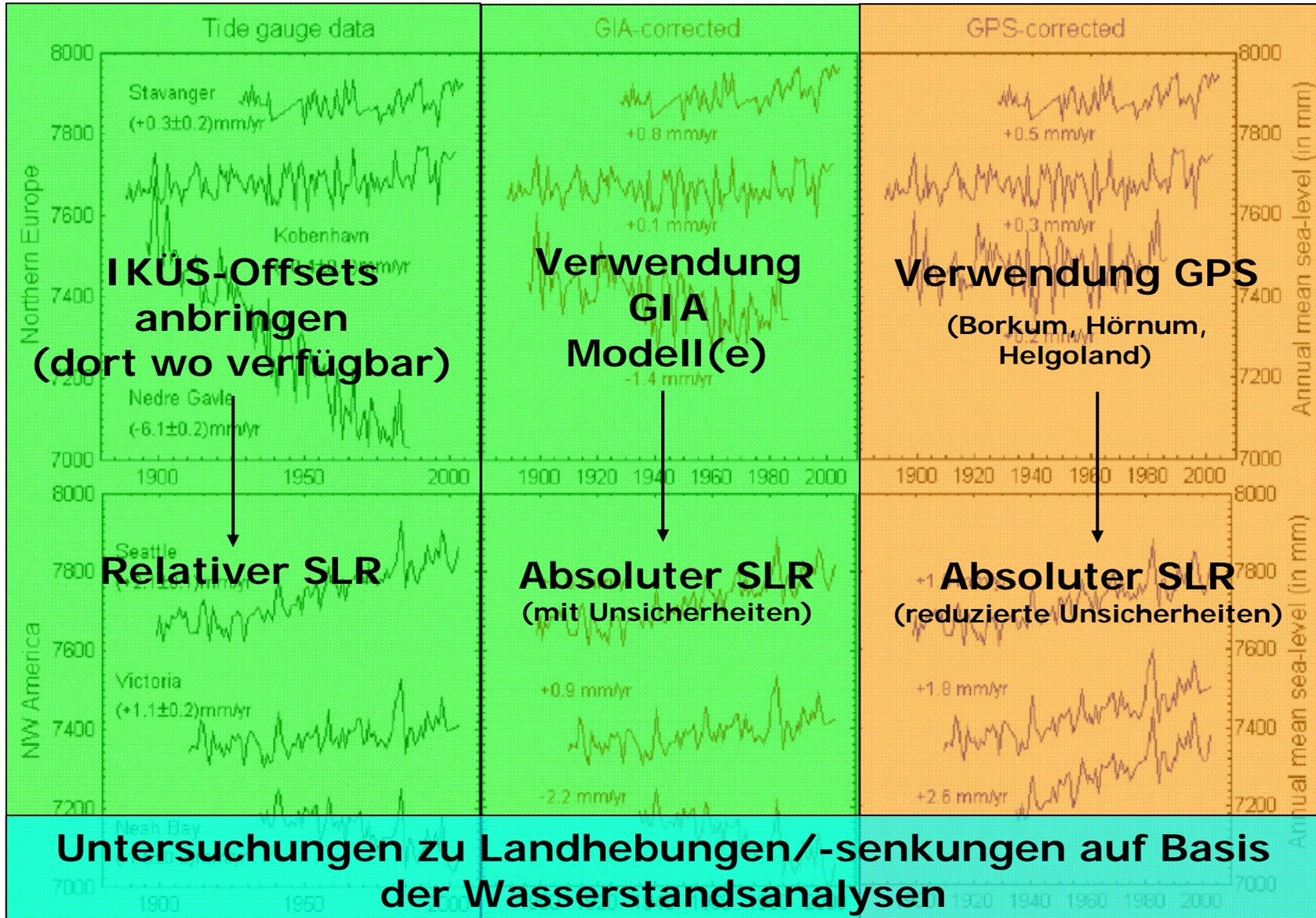


➔ Rekonstruktion von Church und White (2004), mit Daten von 1870 - 2007

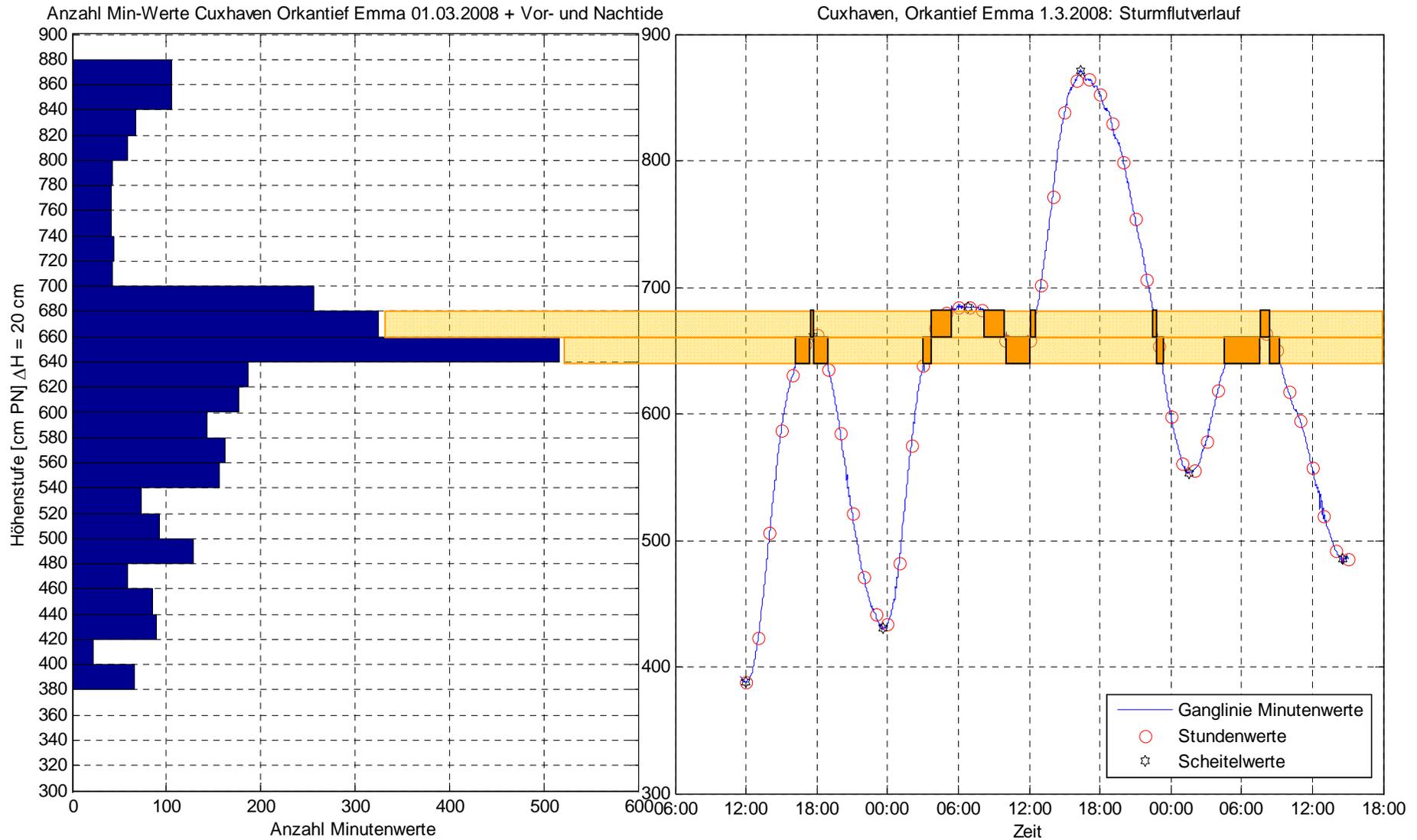
➔  $\Delta$  = Anstiegsraten am Pegel Cuxhaven – Anstiegsraten aus globalem MSL

- Relativer MSL: wichtige Größe für den Küstenschutz
- Absoluter MSL: notwendig für die Verifizierung regionaler Klimamodelle und den Vergleich/Kombination mit Satellitendaten





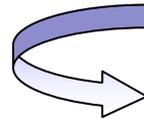
Wöppelmann et al. 2007 und 2009



## Auswertezeiträume

➔ einzelne Sturmfluten

- einzelne Sturmfluttide
- Tidekette



*Etwa 500 hochaufgelöste  
Extremereignisse aus  
XtremRisk*

➔ Monat

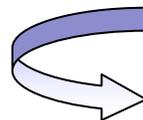
➔ Winter- / Sommerhalbjahr (Sturmflutsaison)

➔ Kalenderjahr

➔ Wasserwirtschaftsjahr

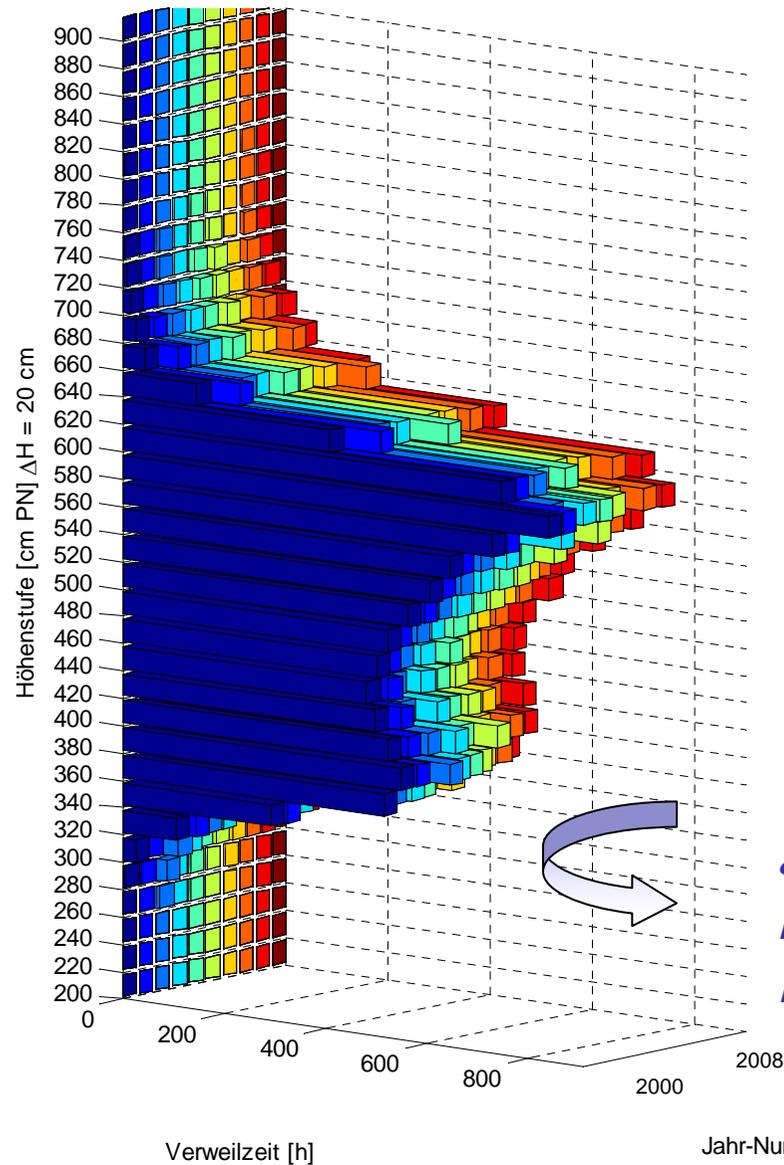
➔ Längere Zeiträume:

- Dekade
- Nodalperiode
- ...



*verfügbare  
Datengrundlage  
berücksichtigen*

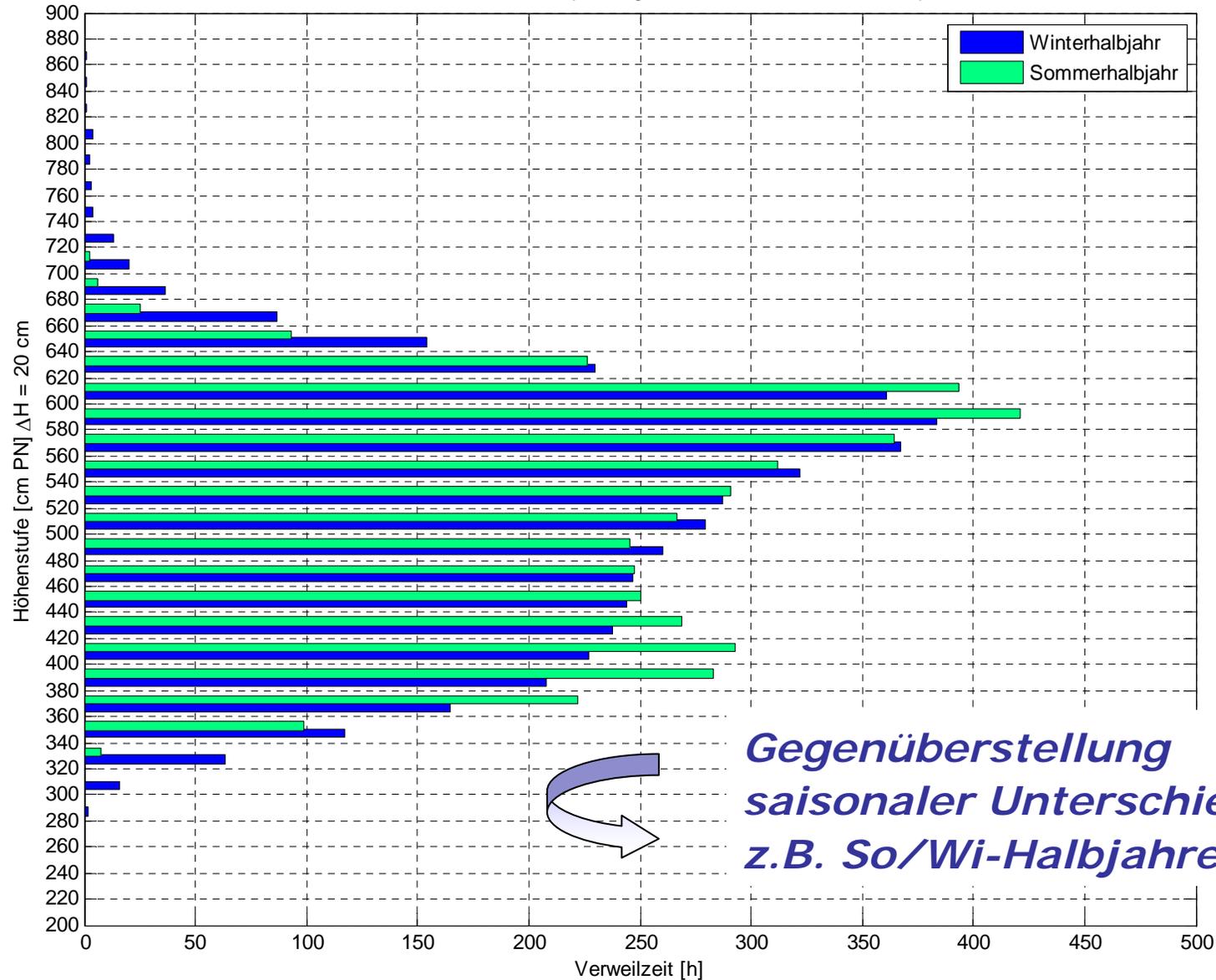
Verweilzeiten Borkum Fischerbalje, Kalenderhalbjahre 2000-2008



*Vergleich  
aufeinanderfolgender  
Perioden, z.B.  
Kalenderjahre*

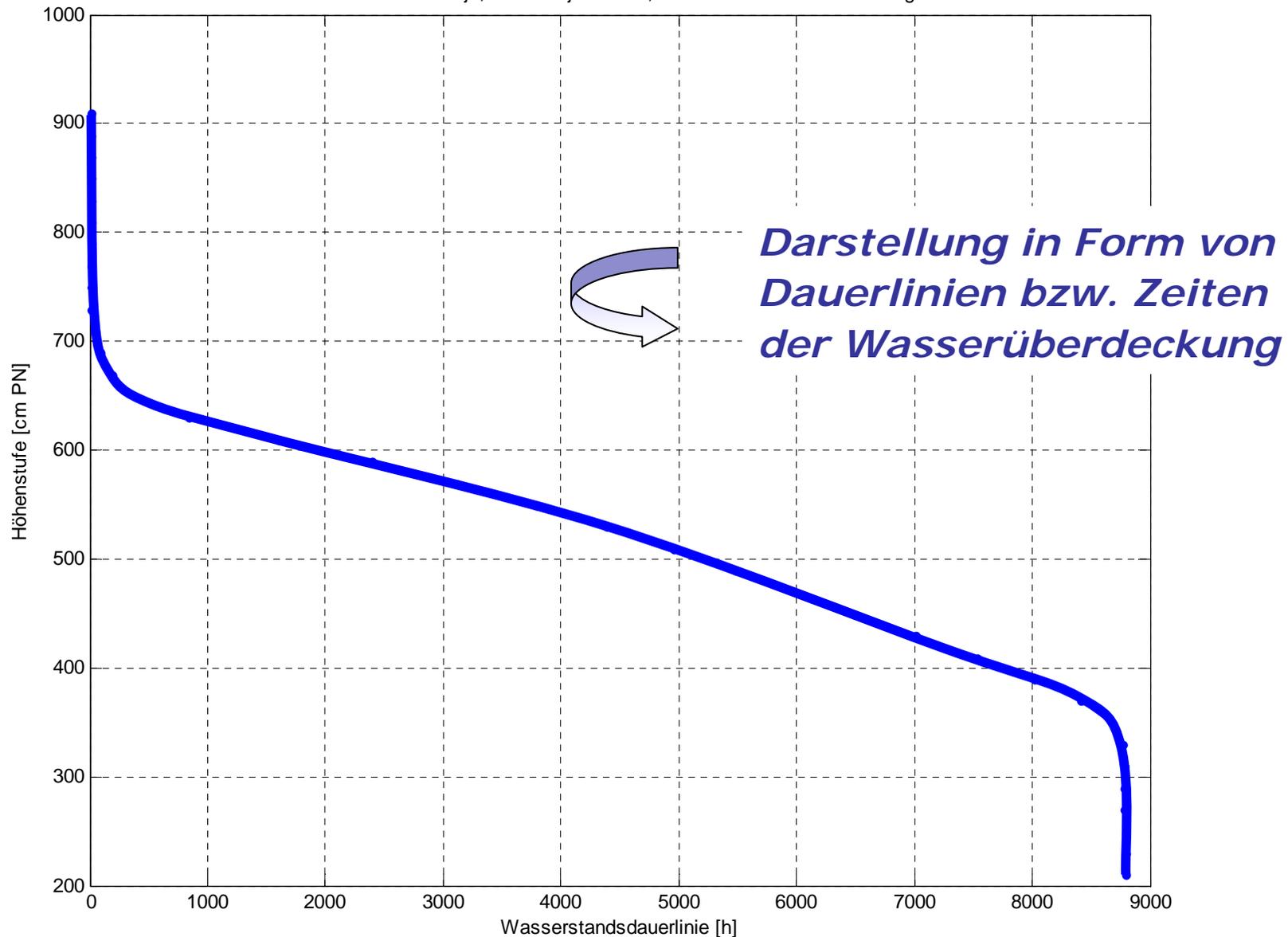
# Verweilzeiten – Borkum, Fischerbalje

Verweilzeiten Borkum Fischerbalje, Vergleich Winter- und Sommerhalbjahr 2007



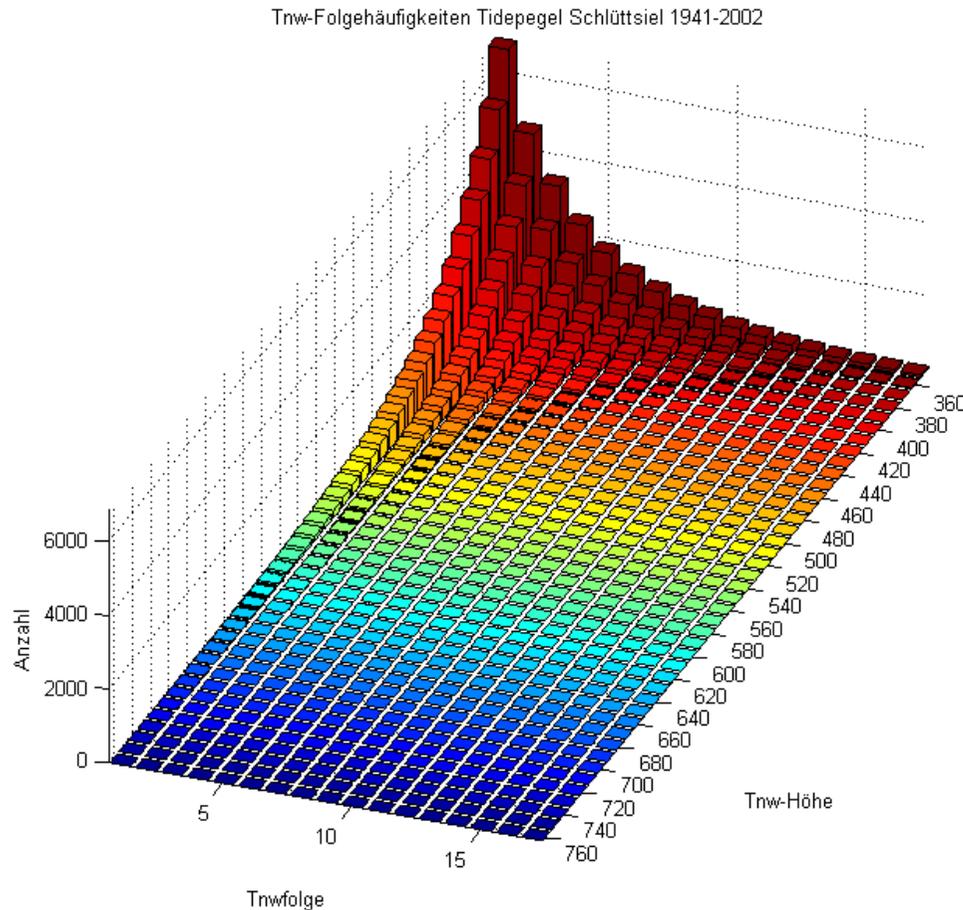
*Gegenüberstellung  
saisonaler Unterschiede,  
z.B. So/Wi-Halbjahre*

Borkum Fischerbalje, Kalenderjahr 2008, Dauerlinie der Überschreitungen



## Auswertung von Kettenereignissen und Scheitelfolgen

- ➔ Sturmtideketten nach Lüders (1973)
  - Kettenwert  $K$ , Vergleichszahl  $V$ , Schwere (gemittelte Wasserstandshöhe  $M$  über  $M_{Thw}$ )
  
- ➔ Tideketten-Untersuchung zum Eidersperrwerk
  - Untersuchungen zur Häufigkeit von Tnw-Sprüngen und Tnw-Ketten-Erhöhungen an der Westküste Schleswig-Holsteins, fwu (1996)
  - Zeitreihenuntersuchungen von Tnw-Sprüngen und Tnw-Ketten-Erhöhungen infolge von Windeinflüssen an der Westküste Schleswig-Holsteins (Eidersperrwerk), fwu (1998)
  - Hydrologische Systemanalyse der Tideeider, fwu (1999)
  
- ➔ Hochwassersicherheit sielbeeinflusster Gewässersysteme, Frank (2007)
  - Tnw-Folgen-Untersuchung, Binnenentwässerung
  - erweitern um Thw



## Verlauf der Tnw

- Wie häufig sind Tidesituationen, die Binnenentwässerung behindern oder sogar verhindern können?

## Definition

- $N$  aufeinander folgende  $Tnw \geq x$  bilden eine Tidekette oder Tnw-Folge der Höhenstufe  $x$

## Grundlage

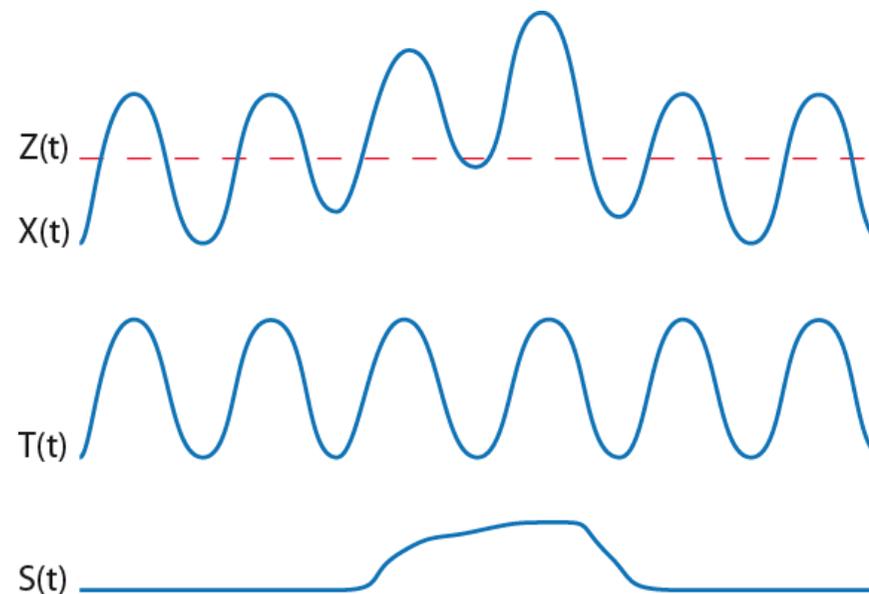
- Zeitreihe von täglichen Tnw-Scheitelwerten über mehrere Jahre

## Untersuchung

- Abprüfen der Tnw-Zeitreihe auf Bedingung  $Tnw \geq x$
- Feststellen, ob Bedingung für  $n = 2, 3 \dots$  aufeinander folgende Tnw erfüllt ist
- Summation der Ereignisse für Folgezahlen  $n$
- Wiederholung für weitere Höhenstufen

## Separation deterministischer und stochastischer Anteile

- ➔ Betrachtung von Tideketten als Ereignisse entsprechenden Stauanteils bzw. stochastischen Anteils in gewisser Form und gewisser Länge



- ➔ Eine grundlegende Herangehensweise besteht also darin, den deterministischen Teil (und Trendanteil) abzuspalten und nur den stochastischen Anteil in der Statistik zu behandeln

## Verweildauern/Tideketten

- Genügen die vorliegenden hochaufgelösten Zeitreihen, alle wesentlichen Partialtiden (z.B. Nodaltide) zu analysieren?
- Statistische Behandlung von Einzelereignissen innerhalb der Residuen-Zeitreihe  $S(t)$  (siehe auch XtremRisk-Projekt)
- Nehmen Tideketten in ihrer Häufigkeit zu?
- Zunehmend längere Ketten oder kürzere Ketten, die aber höhere Tnws / Thws erreichen?

## Mean Sea Level

- Analyse des relativen/absoluten MSL an insgesamt 16 Pegeln
- Ermittlung und detaillierte Analyse einer synthetischen Nordsee MSL-Zeitreihe

# *Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit*

Prof. Jürgen Jensen

Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu)

Universität Siegen

Tel.: +49(271) 740 2172

E-Mail: [juergen.jensen@uni-siegen.de](mailto:juergen.jensen@uni-siegen.de)

Quelle: [http://www.marinefunker.de/deu/images/helgoland1\\_g.jpg](http://www.marinefunker.de/deu/images/helgoland1_g.jpg)



## Herausforderungen

- ➔ Wie können reine Scheitelwertzeitreihen zu solchen Auswertungen beitragen?
- ➔ Genügen die vorliegenden hochaufgelösten Zeitreihen, alle wesentlichen Partialtiden (z.B. Nodaltide) zu analysieren?
- ➔ Behandlung der Flachwassertiden
- ➔ Detektion, Parametrisierung bzw. Charakterisierung und daraufhin statistische Behandlung von Einzelereignissen innerhalb der Residuen-Zeitreihe  $S(t)$  (siehe auch XtremRisk-Projekt)

## Forschungsbedarf

- ➔ Zeitliches Verhalten
- ➔ Zunahme Häufigkeit?
- ➔ Zunehmend längere Ketten?
- ➔ Oder kurze Ketten, die aber höhere  $T_{nws}$  /  $T_{hws}$  erreichen?

## Mean Sea Level

- ➔ Analyse des relativen/absoluten MSL an insgesamt 16 Pegeln
- ➔ Ermittlung und detaillierte Analyse einer synthetischen Nordsee MSL-Zeitreihe

## Verweildauern/Tideketten

- ➔ Genügen die vorliegenden hochaufgelösten Zeitreihen, alle wesentlichen Partialtiden (z.B. Nodaltide) zu analysieren?
- ➔ Statistische Behandlung von Einzelereignissen innerhalb der Residuen-Zeitreihe  $S(t)$  (siehe auch XtremRisk-Projekt)
- ➔ Nehmen Tideketten in ihrer Häufigkeit zu?
- ➔ Zunehmend längere Ketten oder kürzere Ketten, die aber höhere  $T_{nws}$  /  $T_{hws}$  erreichen?