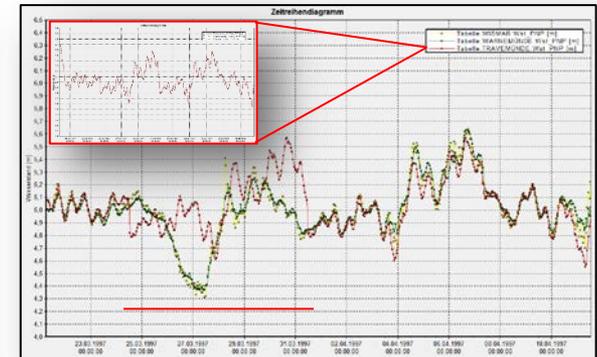
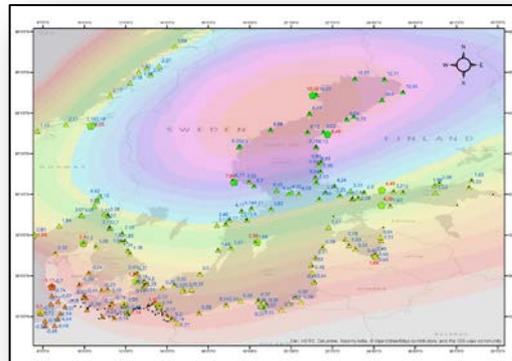


# AMSeL\_Ostsee

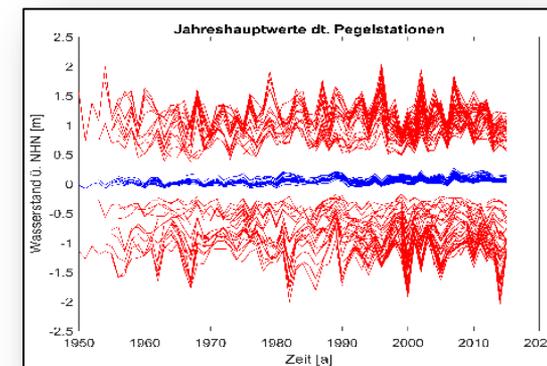
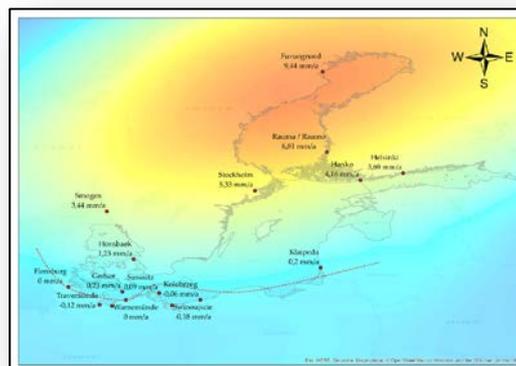
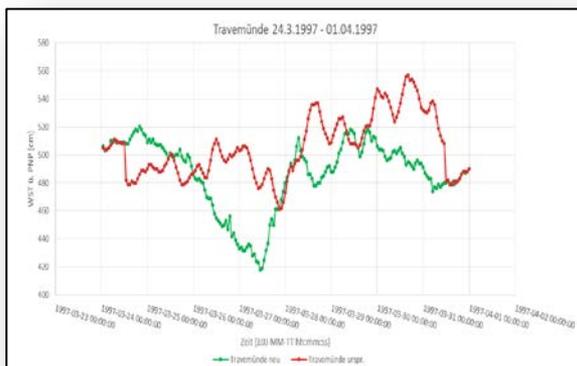
Analyse von hochaufgelösten Wasserstandverläufen und Ermittlung des MSL sowie von Extremwasserständen an der südlichen und südwestlichen Ostseeküste



Peter Fröhle, Justus Patzke, Dörte Salecker, Jürgen Jensen, Sönke Dangendorf, Jessica Kelln

# AMSeL\_Ostsee B - 03KIS0115

Zeitliche Entwicklung von Extremwasserständen in der südwestlichen Ostsee unter Berücksichtigung von vertikalen Landbewegungen auf die relativen Wasserstandsänderungen



Peter Fröhle, Justus Patzke

## AMSeL\_Ostsee



Jessica Kelln



Justus Patzke



## AMSeL\_Ostsee A



Sönke Dangendorf



Prof. Jürgen Jensen



Prof. Peter Fröhle

## AMSeL\_Ostsee B



## KFKI Seminar - Hamburg, Dezember 2018

### Gliederung des Vortrags

1. Ziele
2. Datenakquise und Datenübersicht
3. Datenaufbereitung und Plausibilisierung
4. Statistische Auswertungen Hochwasserstände
5. Statistische Auswertungen Niedrigwasserstände
6. Zusammenfassung

Projekt

Akquise

Aufbereitung

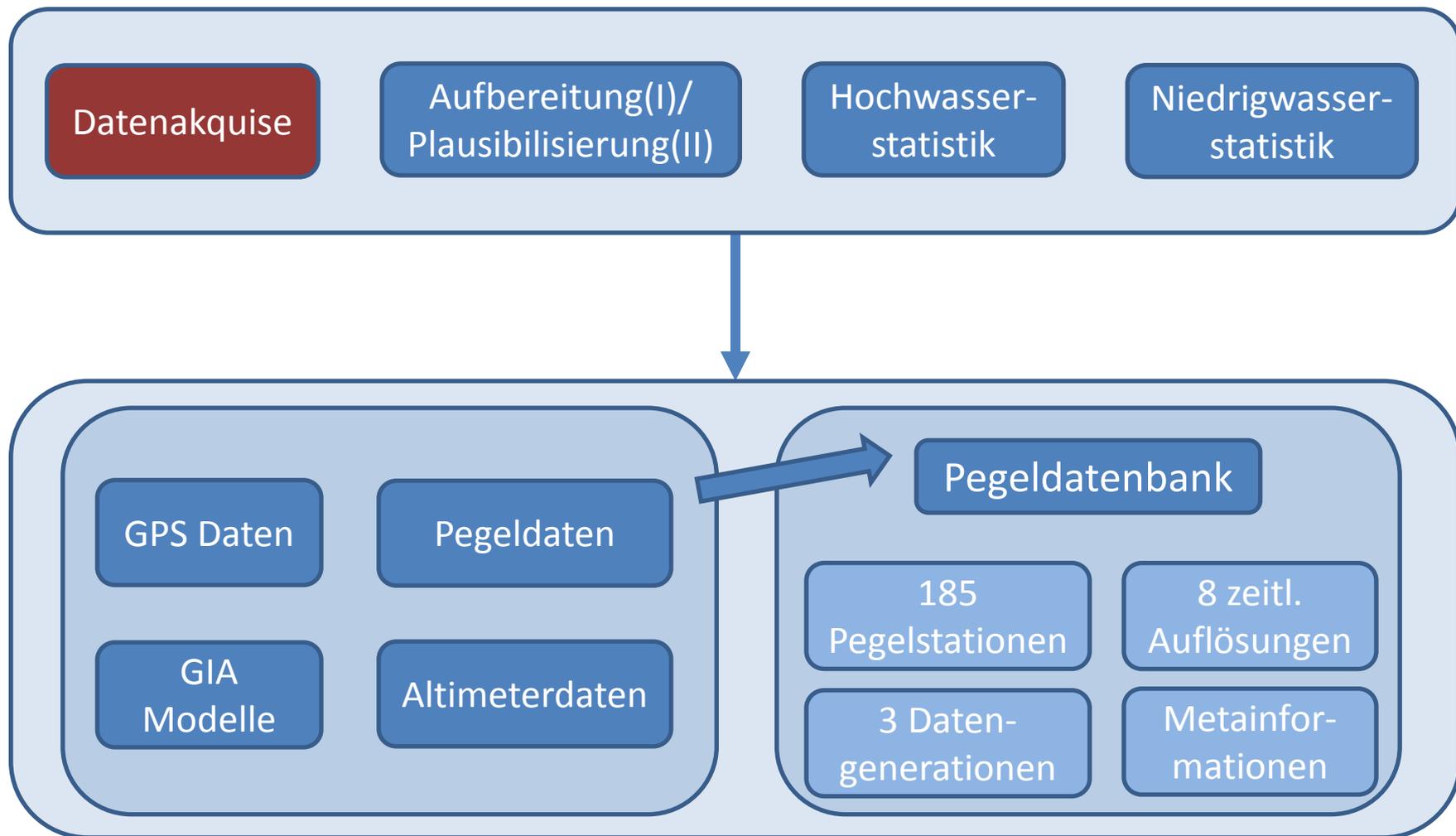
Extrema

Zusammenfassung

# 1. Ziele

## Forschungsziele Teilprojekt B

- Umfassende Datenakquise (Pegeldaten, Daten zur Landbewegung,...) und Aufbau einer Datenbank
- Plausibilisierung zur Ableitung von räumlich und zeitlich konsistenten Zeitserien der Extremereignisse
- Einbeziehung von Landhebungs- und -senkungseffekten (GIA-Modelle, GPS Messungen)
- Statistische Analyse der zeitlichen Entwicklung von Extremereignissen



## Ostsee – Datenquellen deutscher Daten

- **WSÄ** - **Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter Lübeck/Stralsund**
- Stundenwerte für alle verfügbaren Ostseepegel der WSÄ
- **BfG** - **Bundesanstalt für Gewässerkunde**
- Stundenwerte für alle verfügbaren Ostseepegel der WSÄ
- **BSH** - **Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (Rostock)**
- Ergänzung der Zeitreihen von BfG & WSÄ um Tagesmittelwerte, z.T. verlängerte Zeitreihen mit Stunden-/Tagesterminwerten, ...
- **PO** - **PegelOnline.de**
- Monatliche Übertragung aktueller Wst-Rohdaten der verfügbaren Ostseestationen als Minutenwerte
- **PSMSL** - **Permanent Service for Mean Sea Level, PSMSL.com**
- Monats- und Jahresmittelwertzeitreihen von Standorten entlang der Ostsee
- **Literaturquellen:**
  - B-Plan Kappeln, WSA Lübeck
  - Hahn&Rietschel (1938)
  - Seibt (1885)
  - Woodworth et al. (GESLA-2) (2017)
  - Westphal (1900)
  - MUSTOK (2009)
  - Kühnen (1916)
  - Richter et al. (2012)
  - Montag (1965)
  - Feistel et al. (2013)
  - ....

## Ostsee – Quellen internationaler Daten

- **Dänemark: DMI – Danish Meteorological Institute**

Stundenwerte für ausgewählte Stationen frei, andere Stationen nur mit Gegenleistung

- **Polen: IMGW, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Polen**

Datenfreigabe gegen Bezahlung, 8760 Werte (Stundenwerte über 1 Jahr) ~ 5000 €

- **Lettland: LVGMC, Lettisches Zentrum für Umwelt, Geologie und Meteorologie**

Teilweise online verfügbar, teilweis gegen Bezahlung

- **Litauen: EPA – Environmental Protection Agency Litauen**

Freigabe verfügbarer Daten auf Anfrage

- **Estland: EEA Estonian Environmental Agency**

Freigabe verfügbarer Daten auf Anfrage

- **Russland: ~**

Keinerlei Datenfreigabe

- **Finnland: FMI – Finnish Meteorological Institute**

Stunden- und Terminwerte auf Anfrage, Mitautorenschaft in Papers

- **Schweden: SMHI – Swedish Meteorological and Hydrological Institute**

Stundenwerte für alle verfügbaren Ostseepegel online verfügbar, digitalisiert bis ~1900

- **International: PSMSL - Permanent Service for Mean Sea Level**

Monatsmittelwertzeitreihen ausgewählter Standorte entlang der gesamten Ostsee

- **Literaturquellen:**

Ekman (1986), Bogdanov (2000), Feistel (2008), Fúrmanzyk (2008), Wolski (2014), Woodworth (2016)

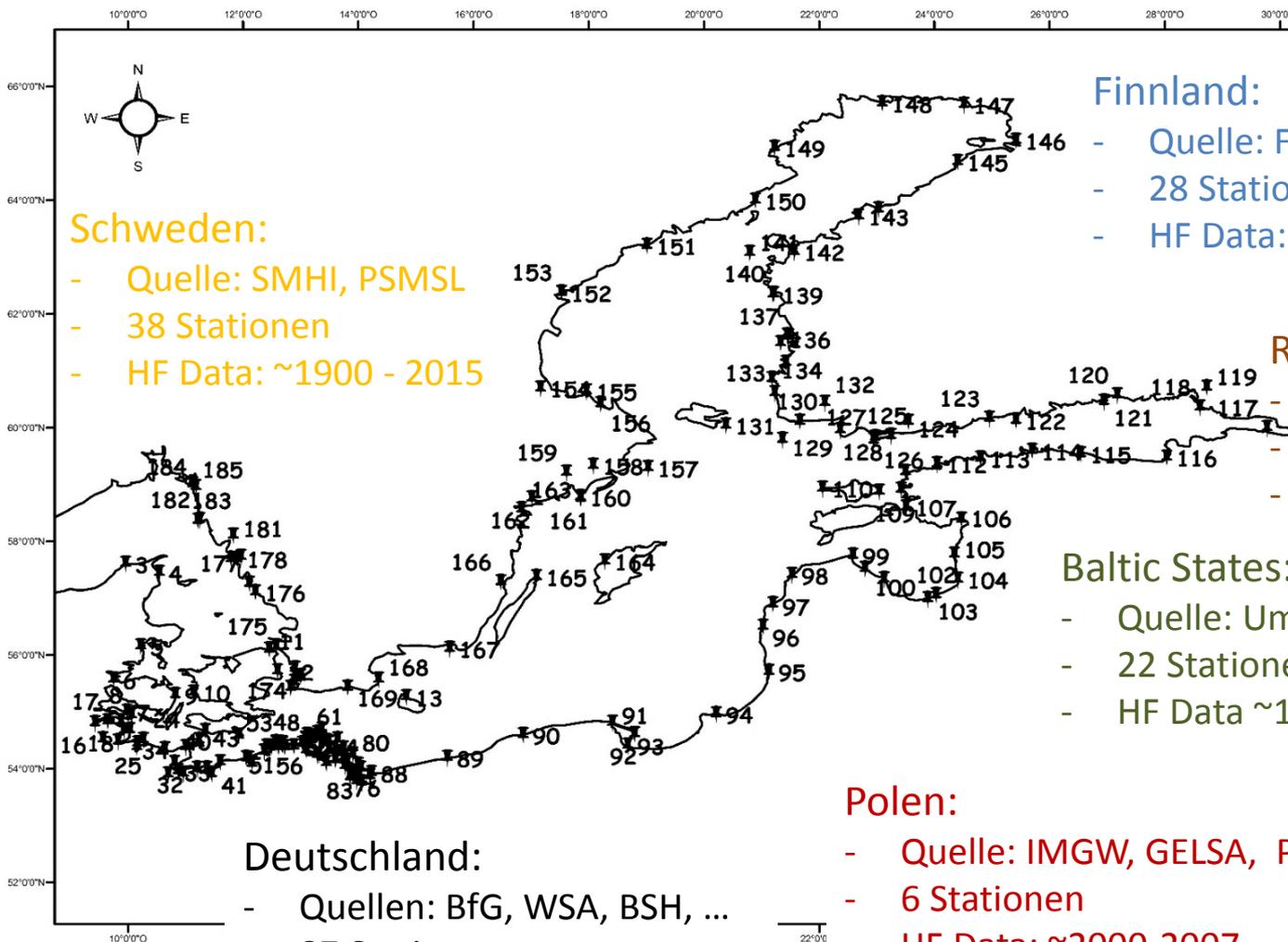
Projekt

Akquise

Aufbereitung

Extrema

Zusammenfassung



**Schweden:**

- Quelle: SMHI, PSMSL
- 38 Stationen
- HF Data: ~1900 - 2015

**Finnland:**

- Quelle: FMI, PSMSL, GESLA
- 28 Stationen
- HF Data: ~1970 - 2015

**Russland:**

- Quelle: Literatur, PSMSL
- 4 Stationen
- HF Data: -

**Baltic States:**

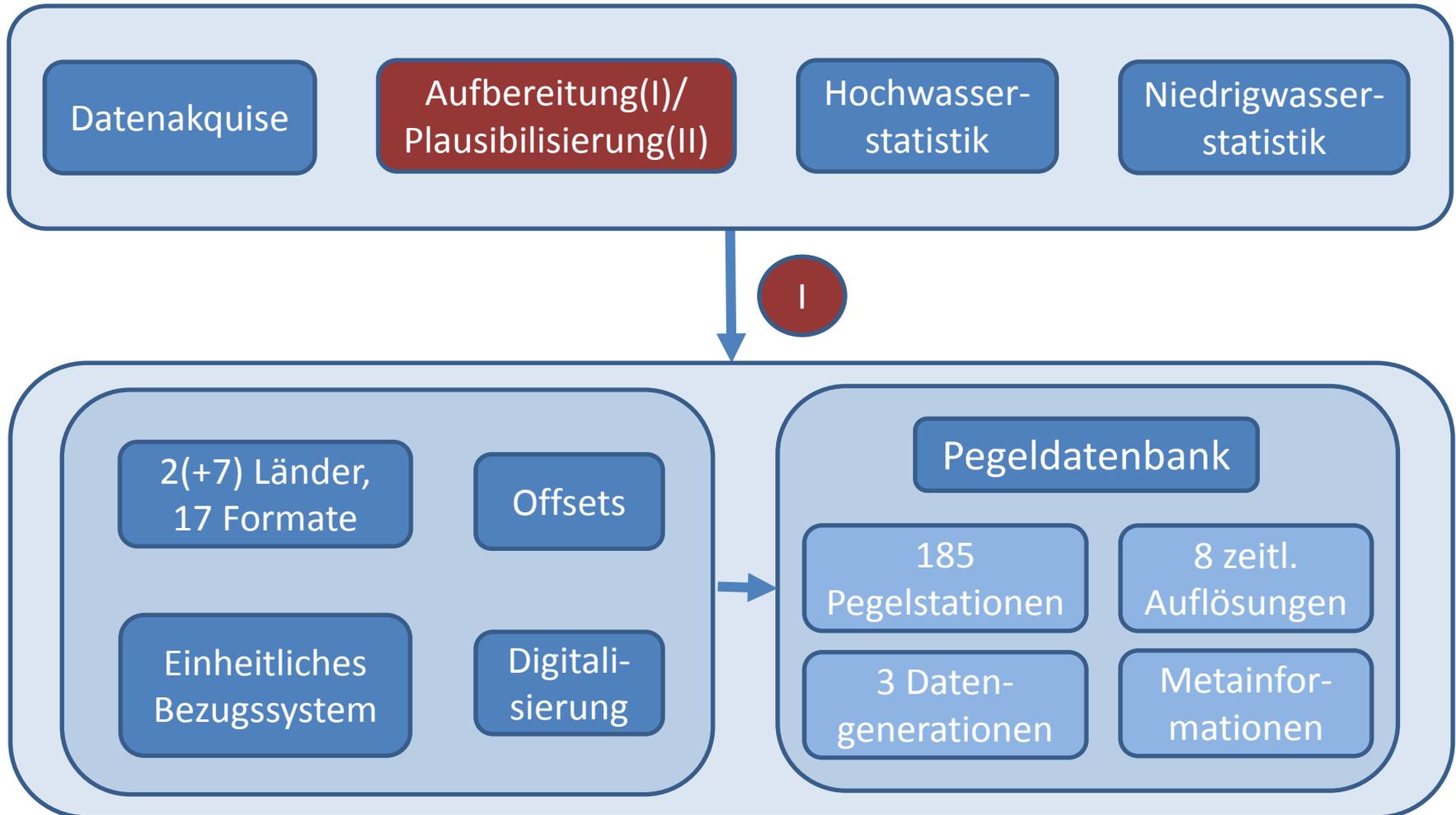
- Quelle: Umweltbehörden, PSMSL
- 22 Stationen
- HF Data ~1970 - 2005

**Deutschland:**

- Quellen: BfG, WSA, BSH, ...
- 87 Stationen
- HF Data: ~1950 - 2017

**Polen:**

- Quelle: IMGW, GESLA, PSMSL
- 6 Stationen
- HF Data: ~2000-2007



## Digitalisierung historischer Wasserstandsinformationen

- Pegelbögen von Schleimünde digitalisiert:
  - ~500 Pegelbögen --> ~ 13 Pegeljahre bearbeitet (1943-1956)
- Digitalisierung historischer Daten und Datenbankimport
  - (IO Warnemünde) Archivdaten zusammengetragen und z.T. digitalisiert
  - (Montag; ~1856-~1945) Monatsmittelwerte dig. & eingepflegt
  - (Westphal, Kühnen; 1882-1910) 12h Terminwerte dig. & eingepflegt
  - (Liebsch) Monatsmittelwerte dig. & eingepflegt (Wis/War)
  - (Hahn/Rietschel) Jahreswerte 8 dt. Stationen, digitalisiert
- Sonstige Datensätze:
  - TU Dresden: MSL Datensätze eingepflegt
  - Feistel: Terminwerte z.T. eingepflegt
  - BLHA: Fund von historischen Datensätzen, Erstellung einer Übersicht

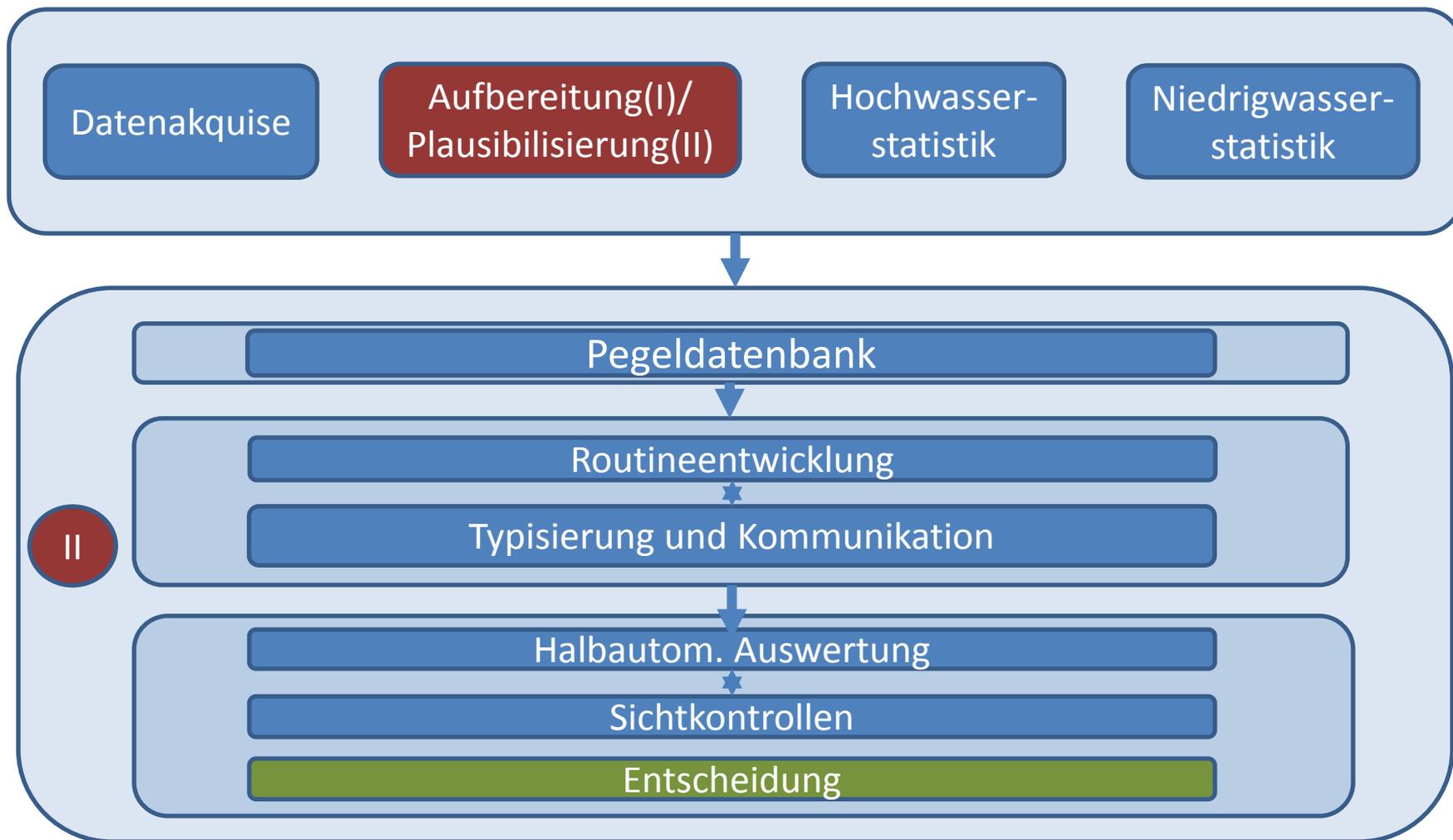
## Reduktion auf ein Höhensystem und Anbringung von Offsets

Im Wesentlichen:

- Pegeldaten dt. Stationen auf NHN umgerechnet
- In nationales Höhensystem, wo möglich (Dänemark, Schweden, Finnland)
- Für Vergleiche mit PSMSL Daten: Umrechnung vom PSMSL Bezug

Wichtige Offsets, u.a.:

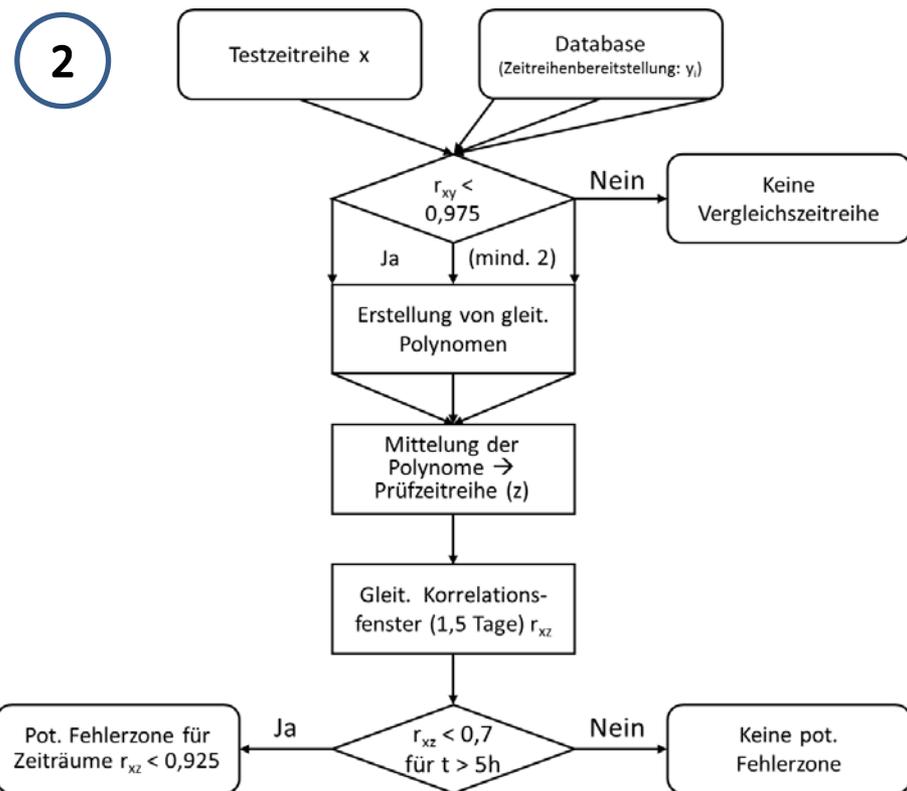
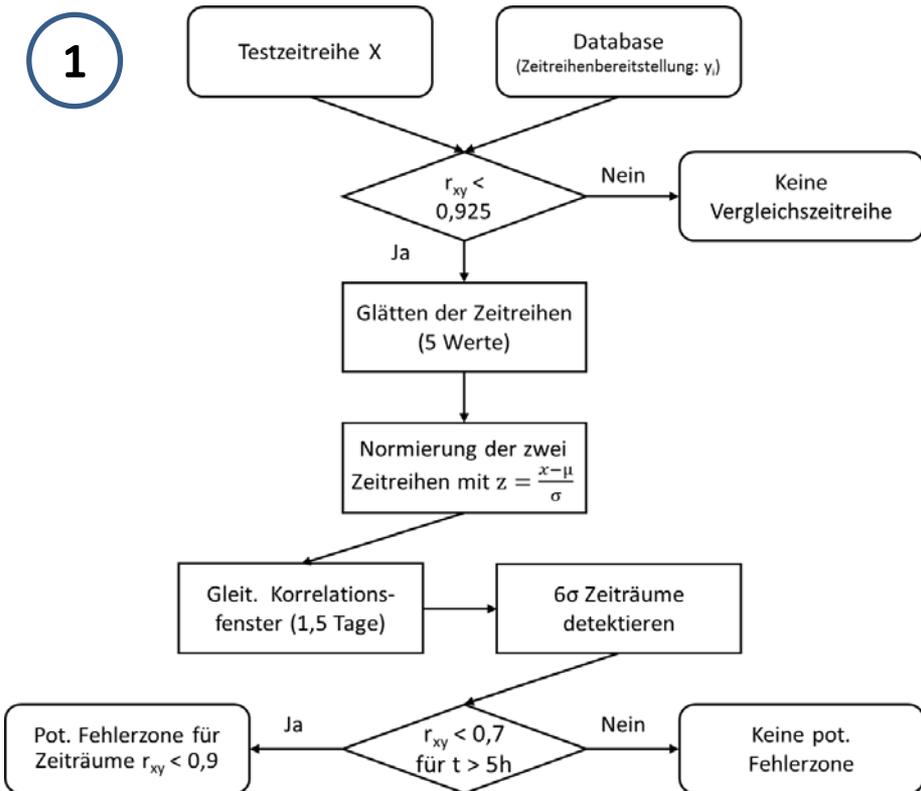
- Wismar:
  - Verschiebung um 4.2 cm
  - $t < 01.11.1985$ : PNP = -4,948 m NHN
  - $t \geq 01.11.1985$ : PNP: -4,99 m NHN
- Timmendorf:
  - Verschiebung um 5.9 cm
  - $t < 01.11.1985$ : PNP: -4,931 m NHN
  - $t \geq 01.11.1985$ : PNP: -4,99 m NHN
- Marienleuchte:
  - $t < 15.12.2004$ : PNP = -4,980 m NHN
  - $t \geq 16.12.2004$ : PNP = -4,981 m NHN
- Neustadt:
  - $t < 11.04.2007$ : PNP = -4,987 m NHN
  - $t \geq 12.04.2007$ : PNP = -5,000 m NHN
- Schleswig:
  - $t < 17.08.2008$ : PNP = -5,002 m NHN
  - $t \geq 18.08.2008$ : PNP = -5,023 m NHN



## Entwicklung eines Plausibilisierungsverfahrens

- Auf historische Zeitreihen anwendbar
- Höherer Aufwand bei Sichtprüfungen

- Auf aktuelle Zeitreihen anwendbar
- Geringerer Aufwand bei Sichtprüfungen



Projekt

Akquise

Aufbereitung

Extrema

Zusammenfassung

## Plausibilisierung - Ergebnisse

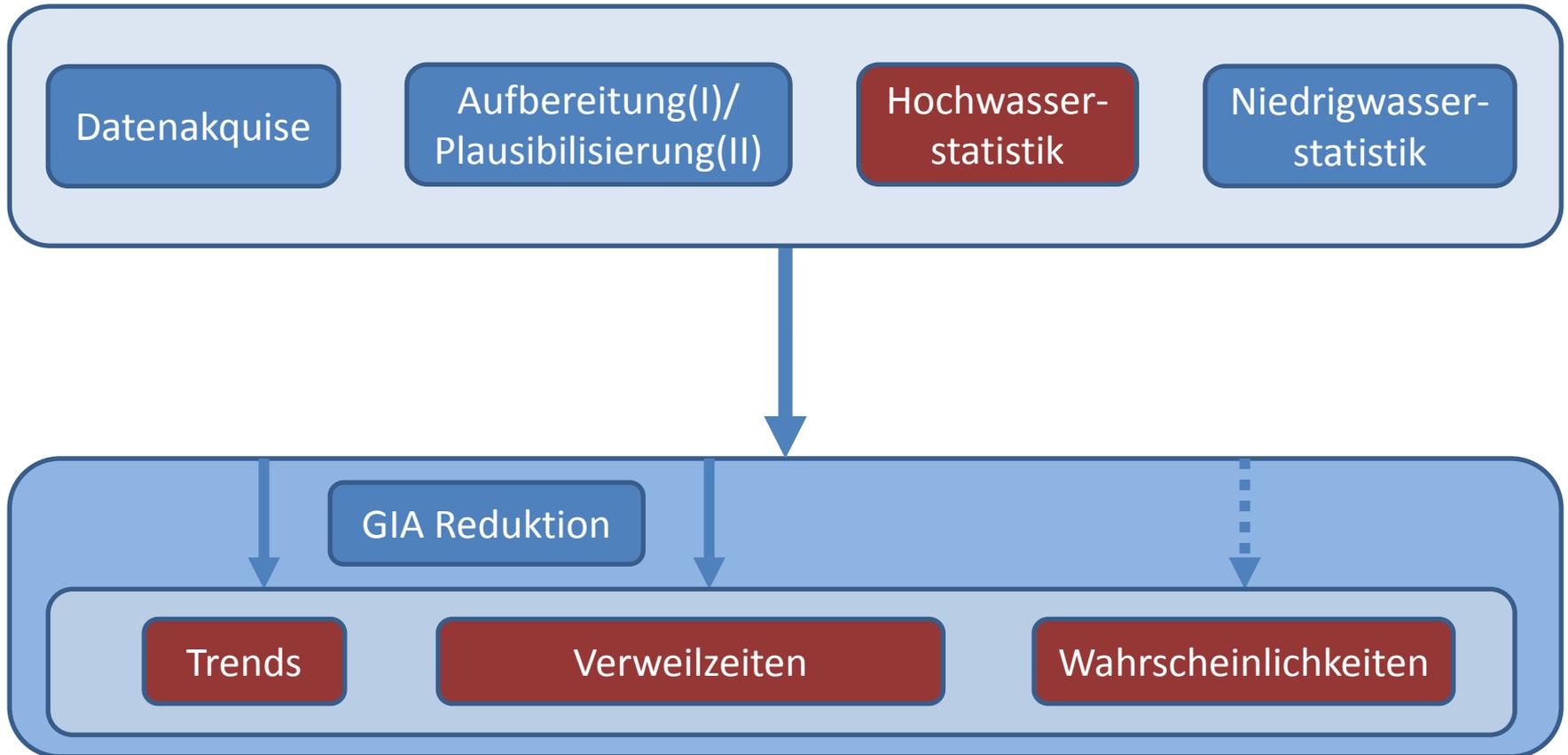
Nr.	Station	P-Verfahren I			P-Verfahren II			Gesamt		
		Abschnitte	stat.sign.auffällig	Zeitraum	Abschnitte	stat.sign.auffällig	Zeitraum	Abschnitte	stat.sign.auffällig	Abdeckung
1	Timmendorf/Poel (WSA)	21	2118	1961-1990	5	207	1990-2013	26	2325	0.96
2	Wismar Baumhaus (WSA)	32	6761	1957-1991	3	320	1991-2013	35	7081	0.97
3	Sassnitz (WSA)	3	3	1963-1984	3	114	1984-2015	6	117	0.85
4	Thiessow (WSA)	x	x	x	2	101	1984-2014	2	101	0.97
5	Ueckermuende (WSA)	x	x	x	3	240	1976-1990	3	240	0.28
6	LT Kiel (WSA)	x	x	x	1	96	1989-2015	1	96	1.00
7	Kiel-Holtenau (WSA)	1	48	1964-1989	7	5911	1989-2015	8	5959	1.00
8	Eckernförde (WSA)	x	x	x	2	54	1989-2015	2	54	1.00
9	Schleimünde SP (WSA)	x	x	x	9	6076	1990-2015	9	6076	1.00
10	Flensburg (WSA)	3	108	1964-1989	1	43	1989-2015	4	151	0.84
11	LT Kalkgrund (WSA)	x	x	x	3	366	1990-2015	3	366	1.00
12	Langballigau (WSA)	x	x	x	4	446	1991-2015	4	446	1.00
13	Koserow (WSA)	x	x	x	1	721	1984-2014	1	721	0.70
14	Ruden (WSA)	1	72	1965-1984	5	369	1984-2014	6	441	0.98
15	Lübeck Bauhof (WSA)	x	x	x	3	222	1990-2014	3	222	0.96
16	Neustadt (WSA)	x	x	x	2	683	1991-2014	2	683	0.96
17	Travemünde (WSA)	2	194	1957-1991	1	40	1991-2014	3	234	0.86
18	Greifswald Wieck (WSA)	1	1	1963/1975	4	25	1975-2013	5	26	0.96
19	Lauterbach (WSA)	x	x	x	2	349	1975-2013	2	349	0.95
20	Greifswalder Oie (WSA)	x	x	x	4	386	1984-2014	4	386	0.97
21	Neuendorf Hafen (WSA)	x	x	x	0	0	1997-2003	0	0	0.19
22	Stahlbrode (WSA)	x	x	x	5	839	1975-2014	5	839	0.98
23	Rostock UP (WSA)	26	4271	1968-2014	x	x	x	26	4271	0.98
24	Warnemünde (WSA)	23	2302	1957-2015	x	x	x	23	2302	0.94
25	Barhöft (WSA)	10	680	1965-2015	x	x	x	10	680	0.82
Gesamtbetrachtung		123	16558	Stunden	70	17608	Stunden	193	34166	Stunden
			1.89	Jahre		2.01	Jahre		3.9	Jahre
			0.20%	Prozent		0.22%	Prozent		0.42%	Prozent

## Historische Extremwasserstände

- Unklarheiten bei einigen Ereignissen nach 1900 konnten geklärt werden
- Unterschiedliche Pegelnullpunkte führten zu Differenzen von bis zu ~50 cm
- Unsicherheiten bei Ereignissen vor 1900 bedürfen weiterer Pegelinformationen (z.B. BLHA)

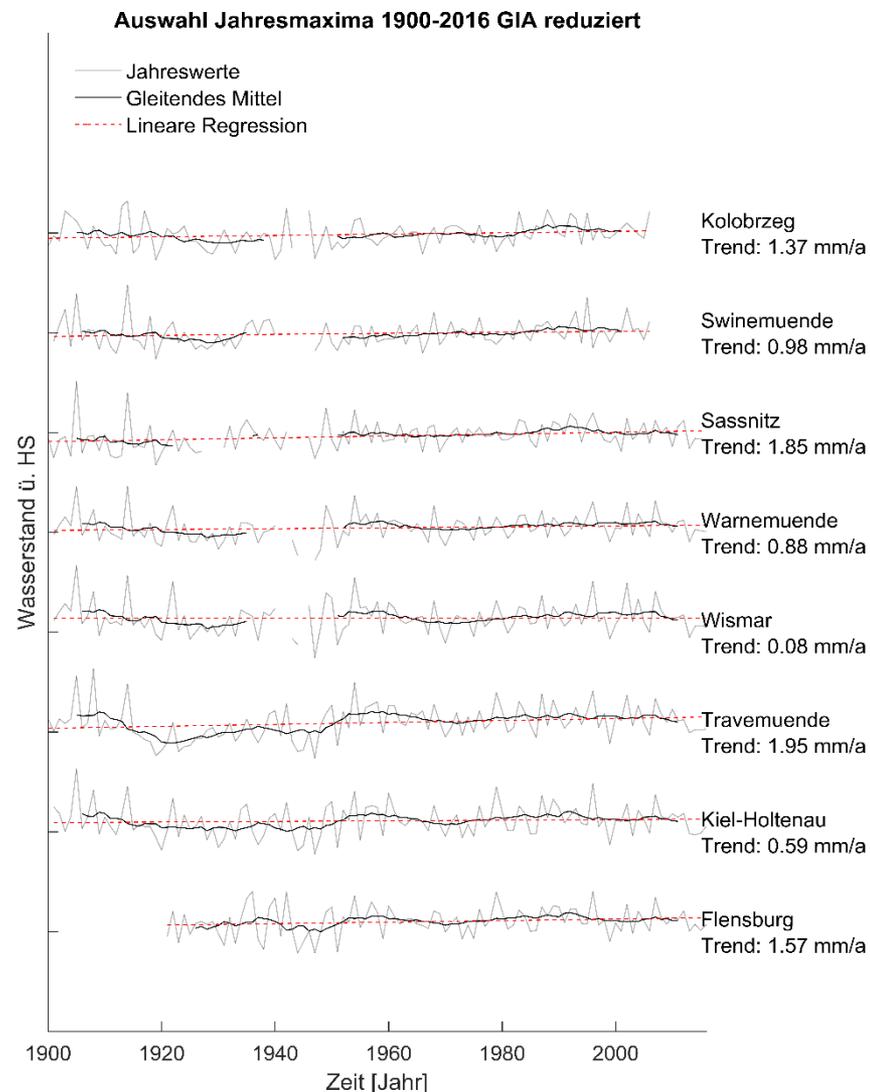
### Travemünde

Datum	WSA Lübeck PNP (NN-500)
13.11.1872	830
05.12.1883	735
25.11.1890	747
20.11.1893	720
31.01.1895	705
24.03.1898	707
31.12.1904	713
09.01.1908	727
30.12.1913	700
28.12.1941	659
13.01.1946	654
11.12.1949	655
04.01.1954	702
25.11.1955	651
13.01.1957	656
14.12.1957	662
14.01.1960	665
10.12.1960	655
12.01.1968	657



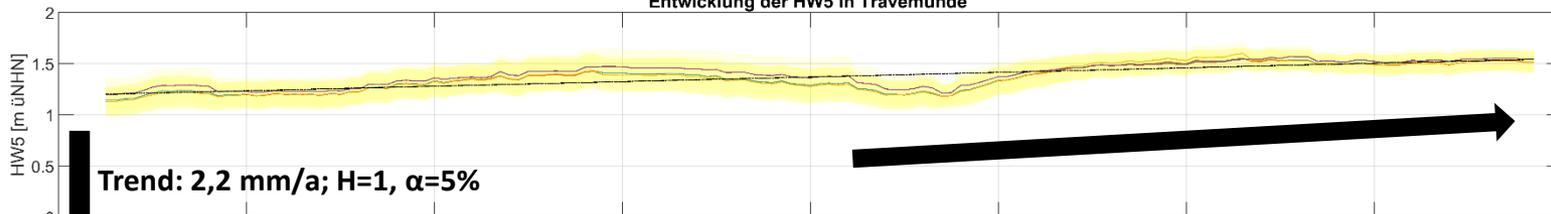
## Jahresmaxima - Trends

- GIA-Reduktion führt zu konsistenteren Ergebnissen
- Trends ostseeweit positiv (nach GIA-Reduktion)
- Nördl. Ostsee mit größeren Trendraten
- Trends teils stärker als MSL Anstieg; Signifikante Trends bei  $\varnothing 1,54 \pm 0,4$  mm/a
  - Flens, KiHo, Wis, War nicht signifikant



# Zeitliche Entwicklung der Wasserstände einer Wiederkehr

Entwicklung der HW5 in Travemünde



HW 5

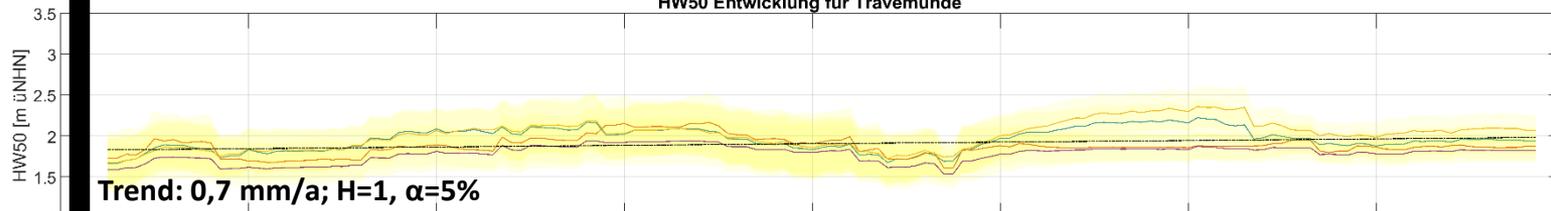
Entwicklung der HW10 in Travemünde



HW 10

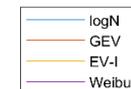
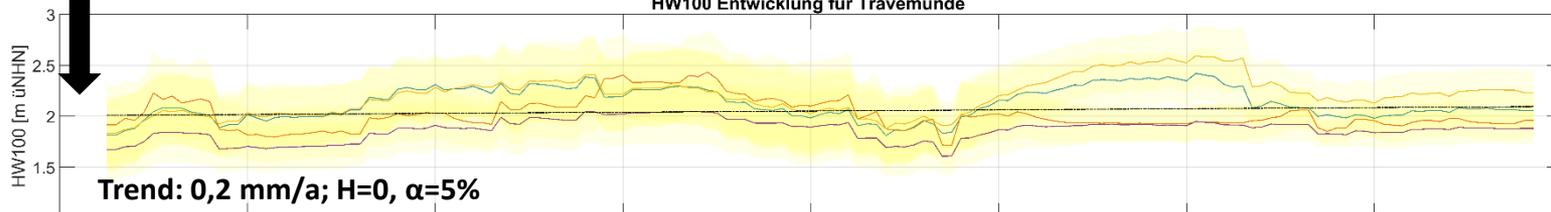
**Können wir diese Effekte auch bei anderen Stationen beobachten?**

HW50 Entwicklung für Travemünde



HW 50

HW100 Entwicklung für Travemünde

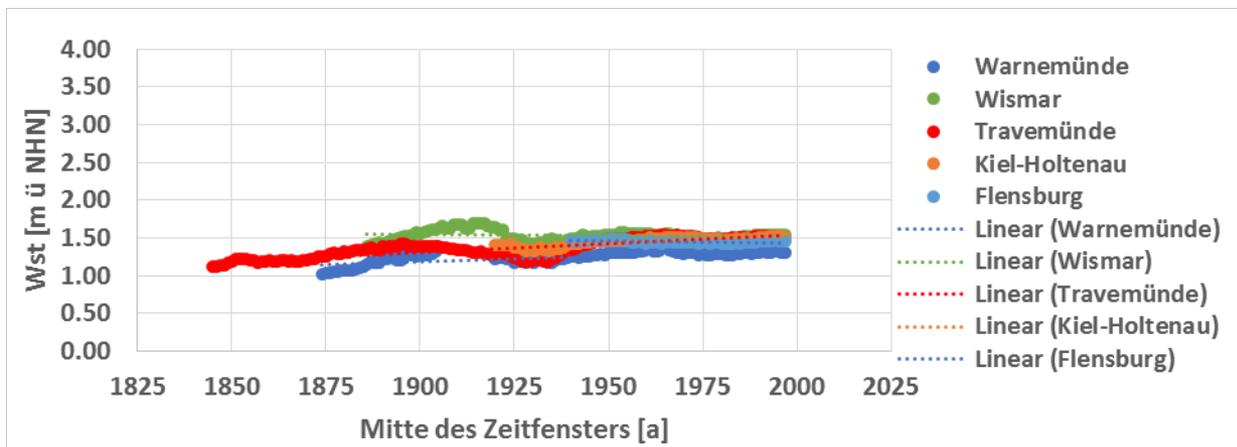


HW 100

1840 1860 1880 1900 1920 1940 1960 1980 2000  
Mittelpunkt des Zeitfensters (38a)

# Vergleich mit weiteren Ostseestationen

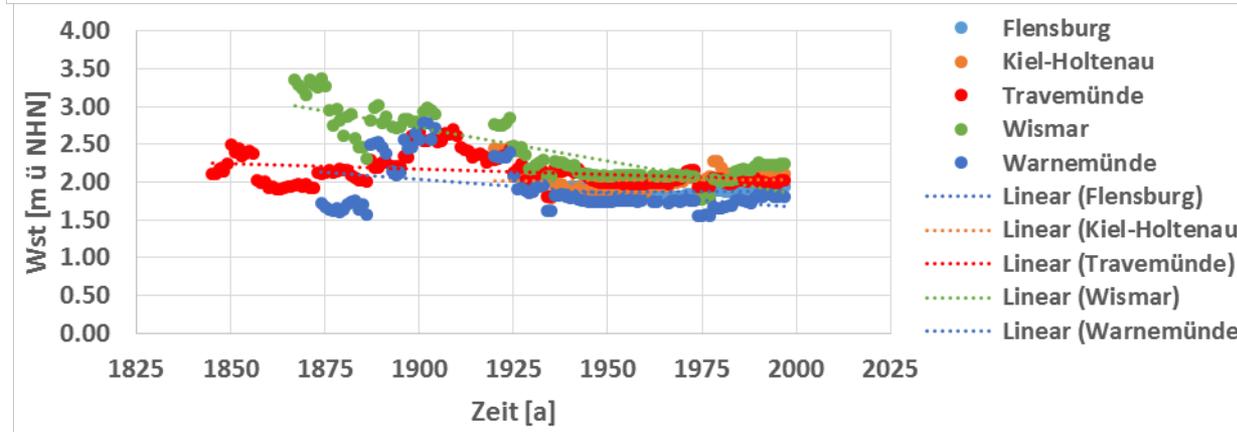
HW 5



Tendenz



HW 100

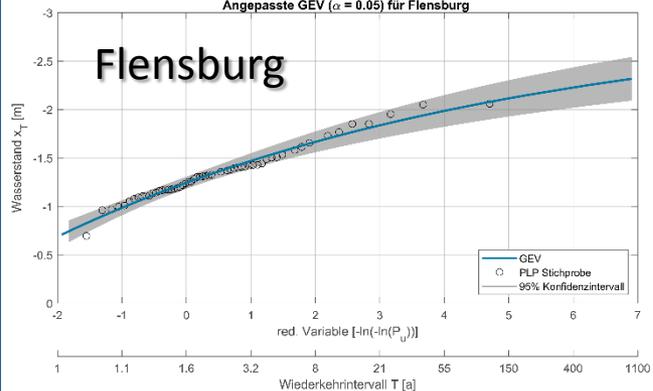


?

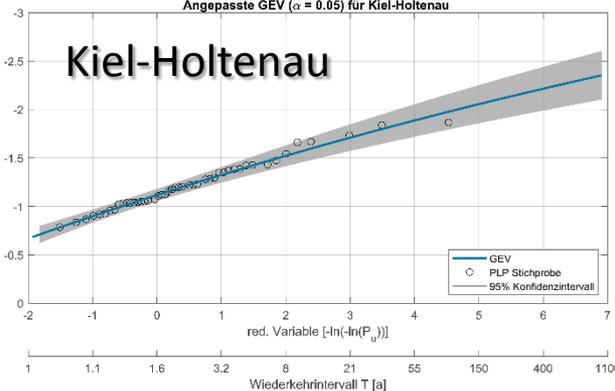
**Zeitreihen zu kurz/unvollständig & weiter Plausibilisierungsbedarf**

# Anpassung von Verteilungsfunktionen

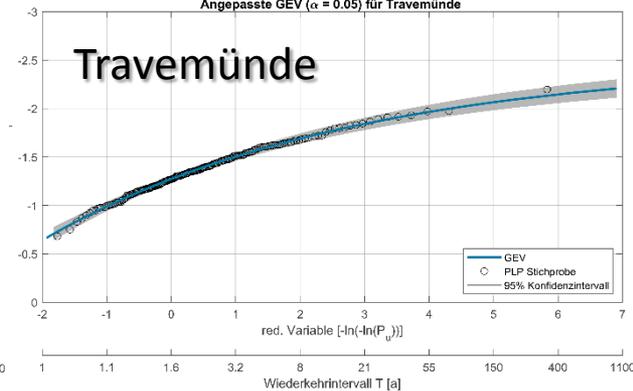
Angepasste GEV ( $\alpha = 0.05$ ) für Flensburg



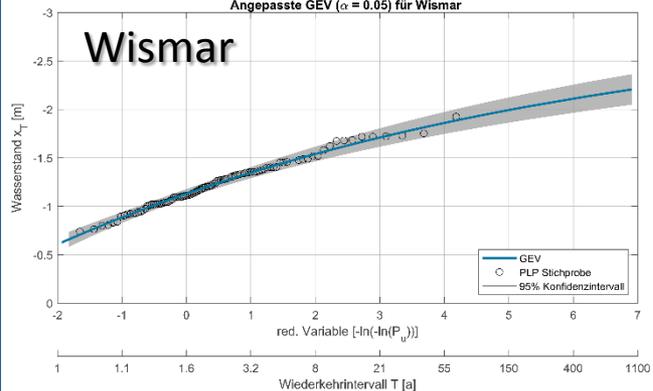
Angepasste GEV ( $\alpha = 0.05$ ) für Kiel-Holtenau



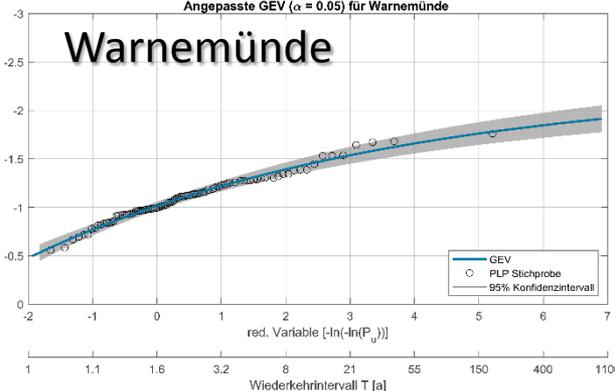
Angepasste GEV ( $\alpha = 0.05$ ) für Travemünde



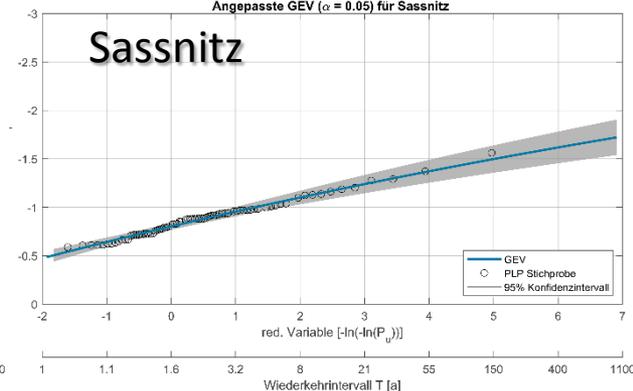
Angepasste GEV ( $\alpha = 0.05$ ) für Wismar



Angepasste GEV ( $\alpha = 0.05$ ) für Warnemünde



Angepasste GEV ( $\alpha = 0.05$ ) für Sassnitz

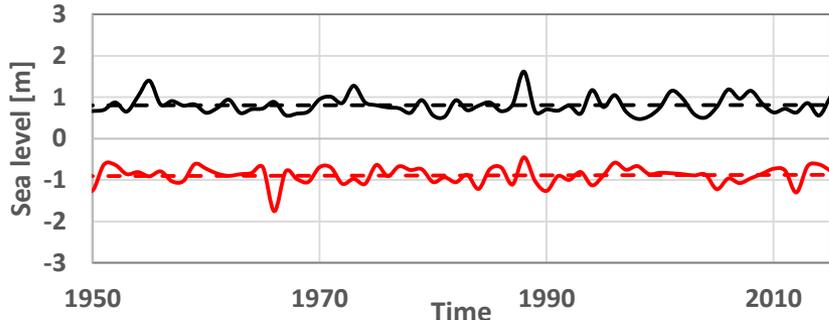
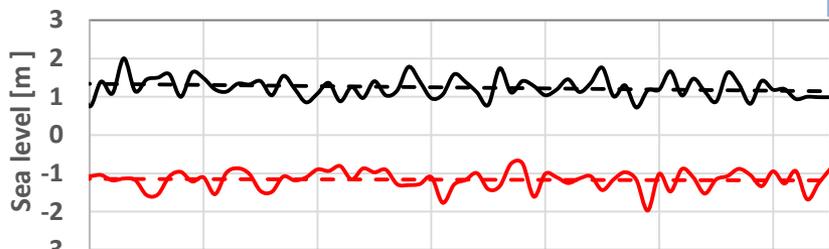


## Saisonale Extremwertstatistik

- Sommermaxima mit  $HW_{100} \sim 1,5$  m NHN
- Wintermaxima mit  $HW_{100} \sim 2,0$  m NHN
- ca. 20 % höhere Wst an Buchtenpegeln

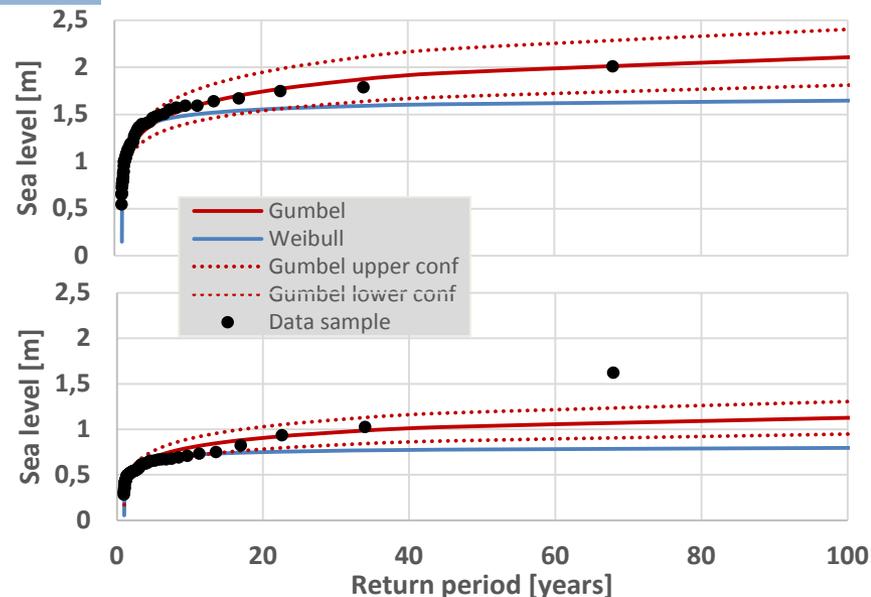
Station	Ø HW		HW100	
	W	S	W	S
FLENS	1,22	0,90	2,03	1,48
KIEL	1,20	0,84	2,08	1,49
TRA	1,24	0,81	2,11	1,59
WIS	1,24	0,82	2,14	1,48
WAR	1,08	0,71	1,85	1,29
SASS	0,88	0,62	1,54	1,15

### Travemünde

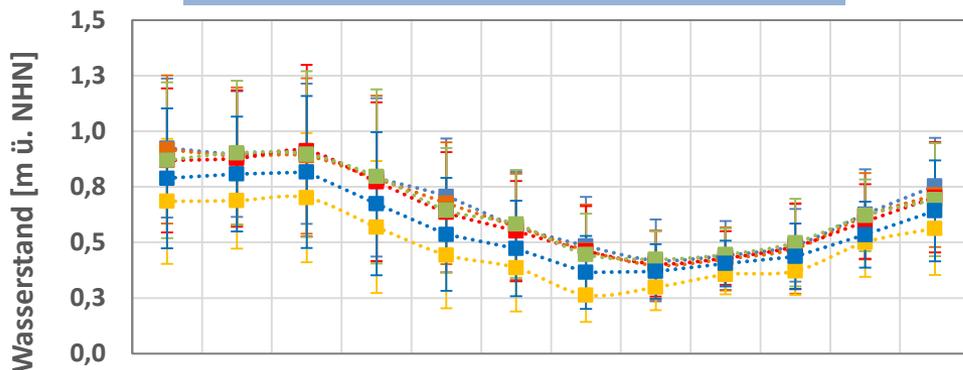


Winter

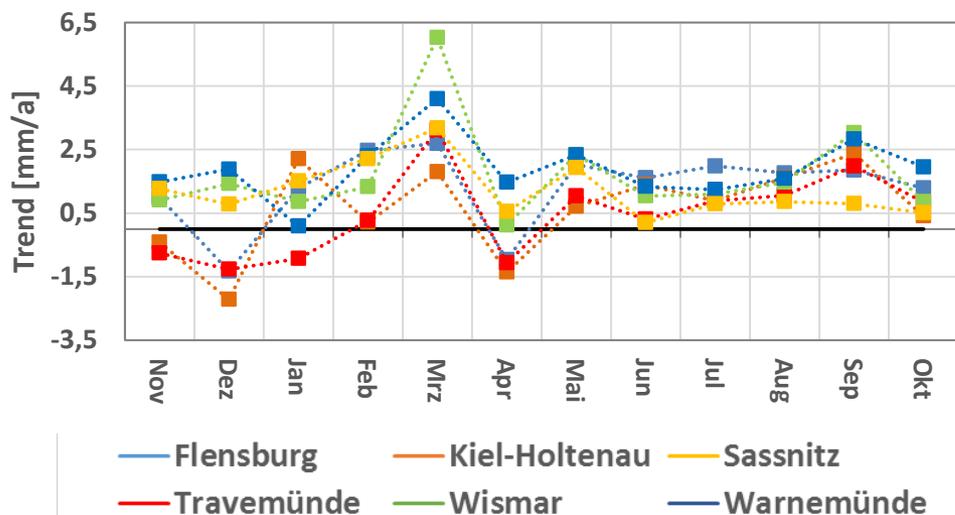
Sommer



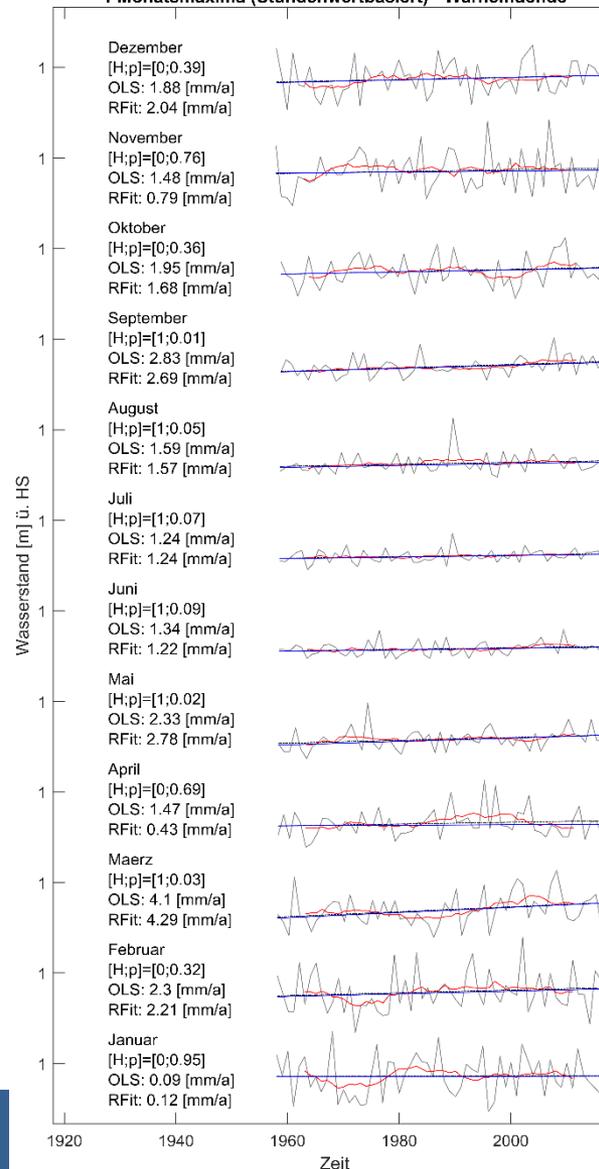
### Mittlere Monatsmaximalwerte



### Trends der Monatsmaximalwerte



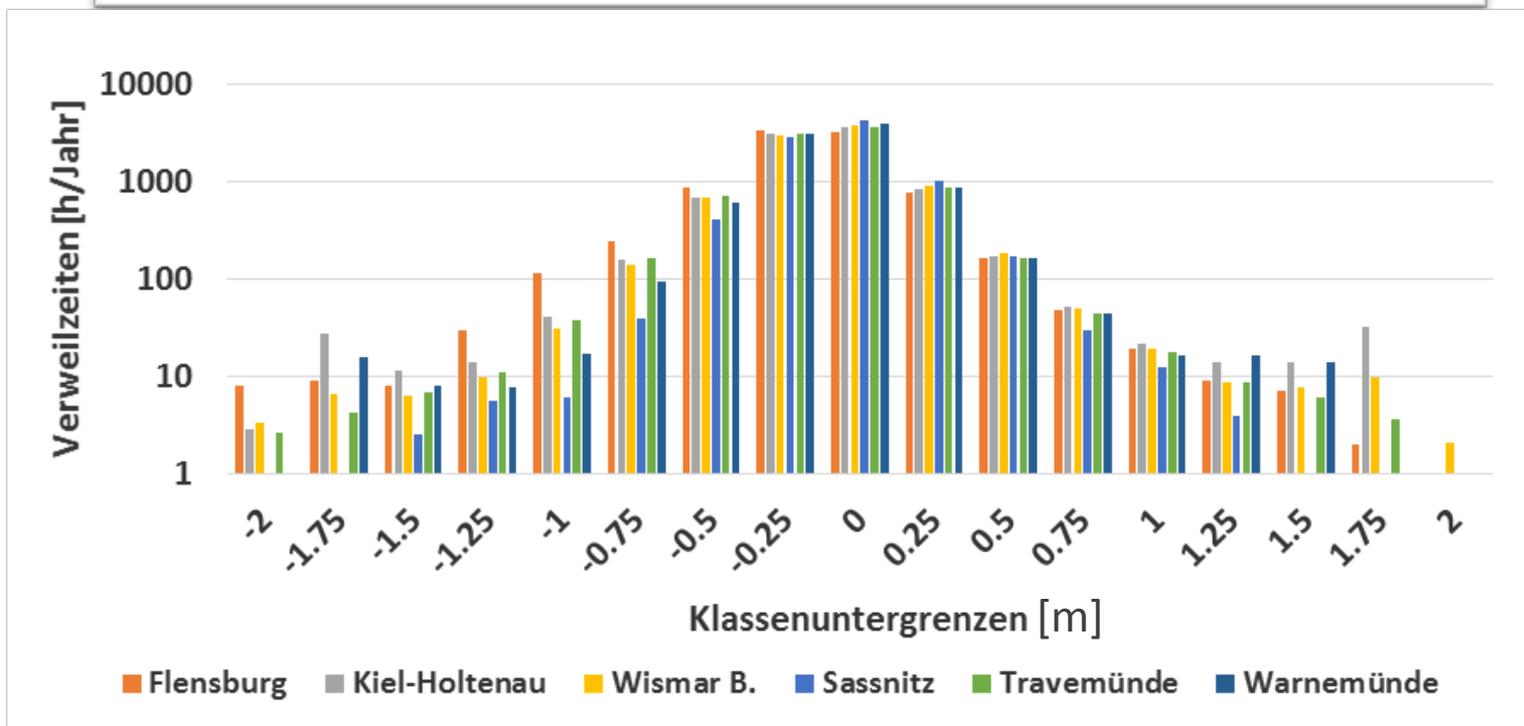
### 1 Monatsmaxima (Stundenwertbasiert) - Warnemünde

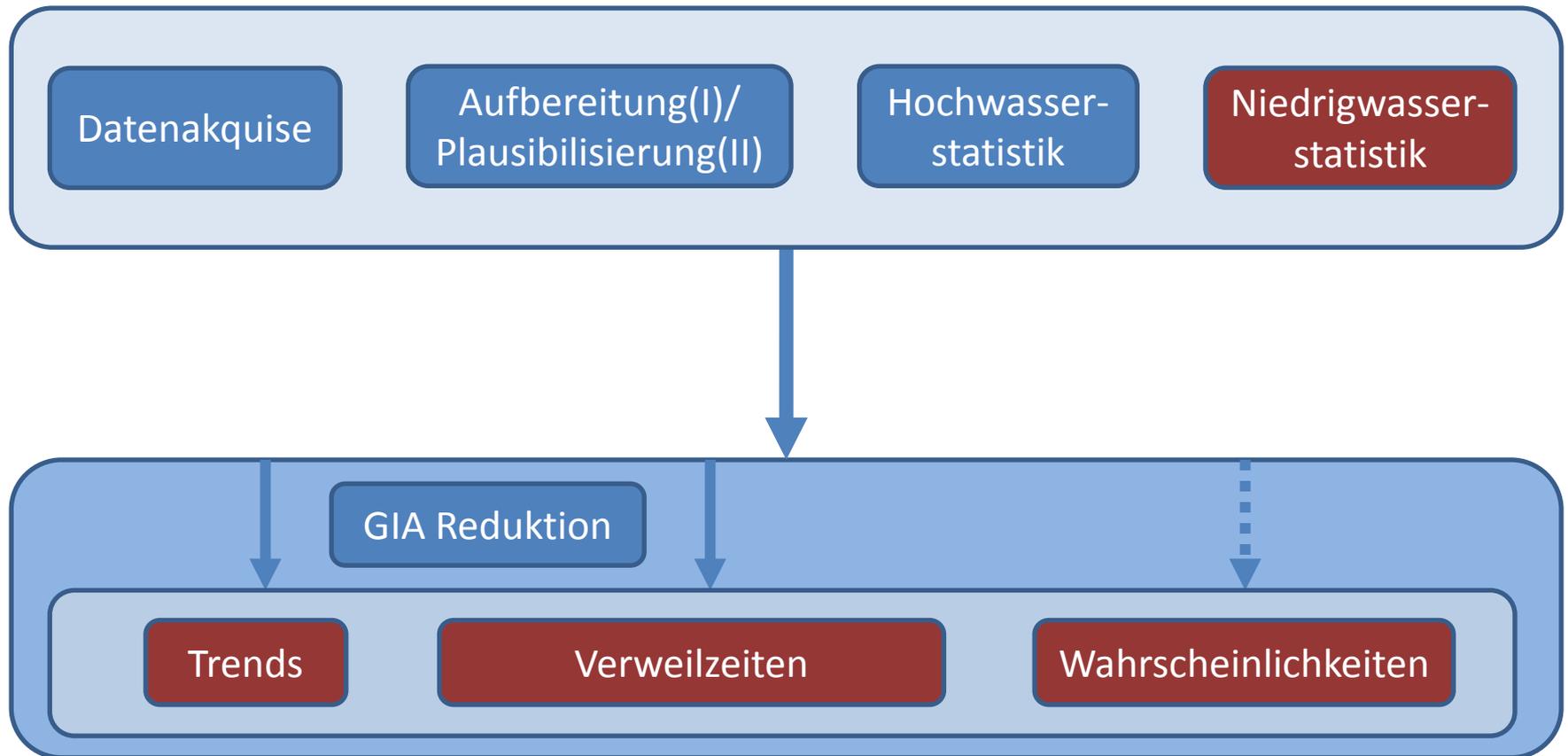


# Verweilzeitanalyse – Mittlere Verhältnisse der letzten 60 Jahre

(1957 – 2016)

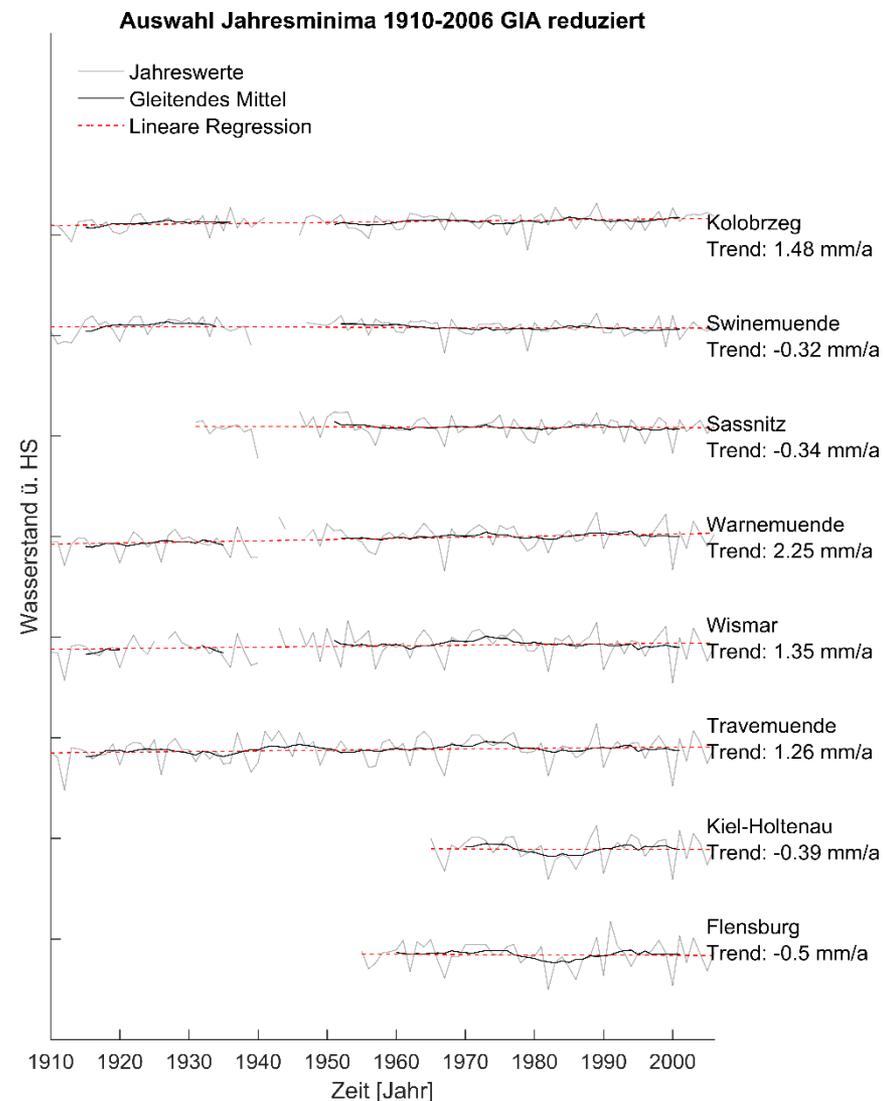
Mittlere jährliche Sturmhochwasserverweilzeit (1957-2016) [h]					
Flensburg	Kiel-Holtenau	Wismar B.	Sassnitz	Travemünde	Warnemünde
37	81	48	16	36	47





## Jahresminima – Trends

- Trends mit höherer Varianz als bei Hochwasserständen
- Kein einheitliches Verhalten zu beobachten, starke Abhängigkeit vom Betrachtungszeitraum
- Signifikante Trends bei  $\varnothing 0,86 \pm 1,0 \text{ mm/a}$ 
  - Flens, KiHo, Wis nicht signifikant



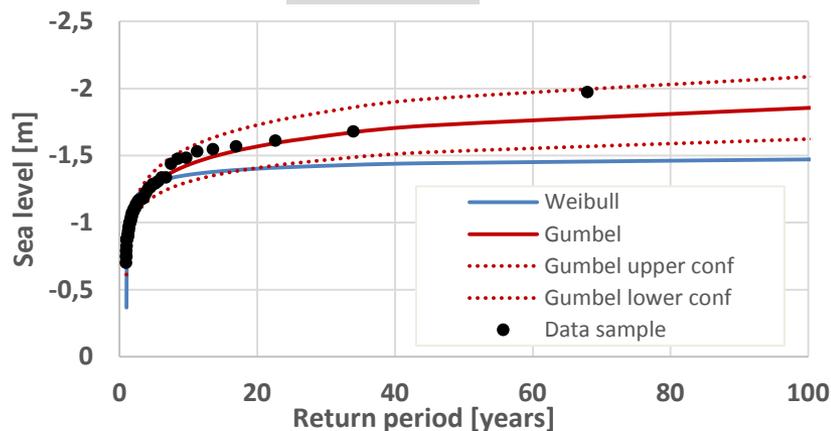
## Saisonale Extremwerte und Wiederkehrintervalle

- Spread mit  $\sim 20\text{cm}$  zwischen Winter und Sommer ist kleiner als bei HW
- Abnahme von West nach Ost
- Die stärksten Niedrigwasser sind am Pegel Flensburg zu beobachten

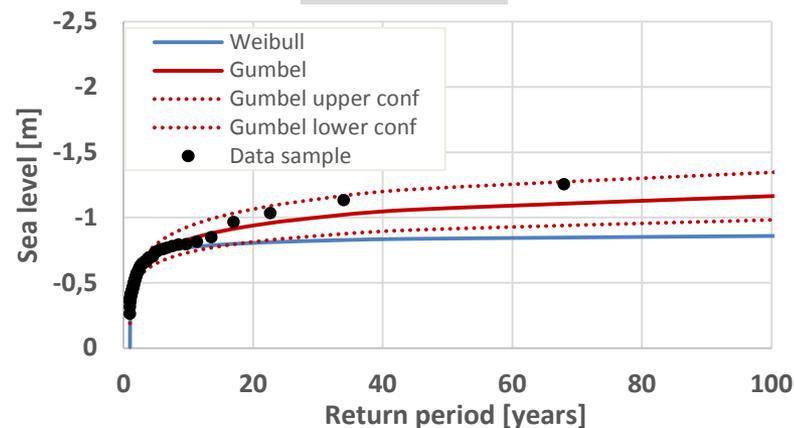
Station	$\emptyset$ NW		HW100	
	W	S	W	S
FLENS	-1,26	-1,01	-2,16	-1,76
KIEL	-1,16	-0,92	-2,01	-1,57
TRA	-1,17	-0,89	-1,96	-1,65
WIS	-1,06	-0,86	-1,98	-1,52
WAR	-0,98	-0,71	-1,64	-1,30
SASS	-0,85	-0,59	-1,41	-1,11

### Travemünde

#### Winter



#### Sommer



Projekt

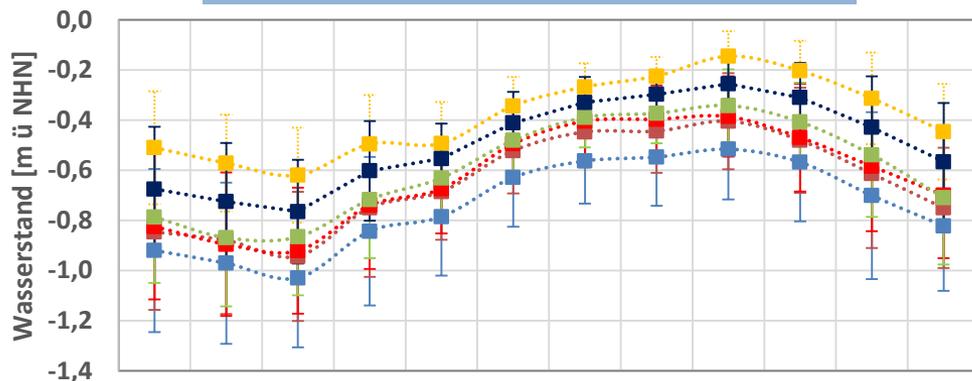
Akquise

Aufbereitung

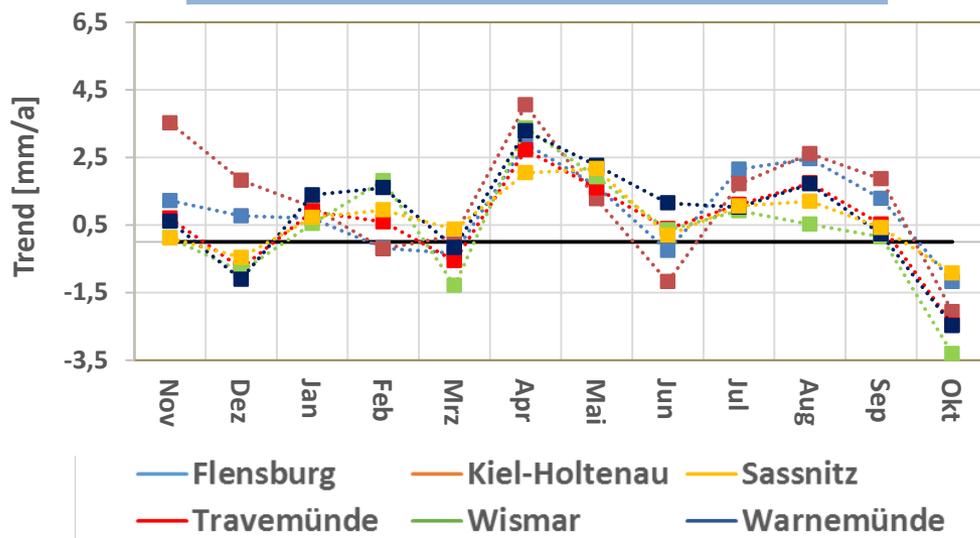
Extrema

Zusammenfassung

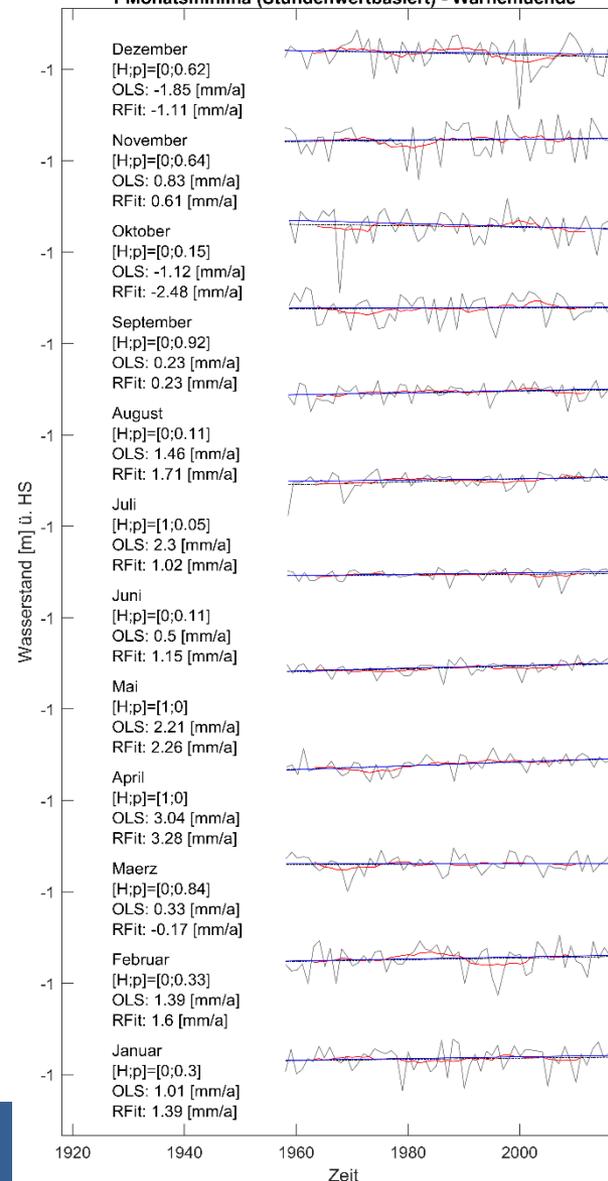
### Mittlere Monatsminimalwerte



### Trends der Monatsminimalwerte



### 1 Monatsminima (Stundenwertbasiert) - Warnemünde



# Zusammenfassung

## Zusammenfassung

- Aufbau einer **Wasserstandsdatenbank** mit 185 Stationen
  - **Digitalisierung** von historischen Wasserstandsdaten aus Literaturquellen und Pegelschrieben
  - Halbautomatische **Plausibilisierungsmethoden** entwickelt,
  - Im Austausch mit den Behörden: **Überarbeitung offizieller Daten**
- **Take Home Message:** Für zukünftige Analysen sollten die Datensätze historischer und hochaufgelöster Daten erneut von der BfG akquiriert werden!
- Zusammenstellung und Analyse von **langen Extremwertzeitreihen**
    - Einheitlich positive Extrema-Trends für HW-Ereignisse
    - Monatstrends lassen **Saisonenerweiterung vermuten**
    - Keine signifikanten Trends bei Verweilzeiten

Scharbeutz, Deutschland

# Vielen Dank!

Das Team von AMSeL\_Ostsee dankt ganz herzlich für die gelungene Zusammenarbeit mit allen beteiligten Personen und Institutionen!

→ Insb. beim Auffinden und der Aufbereitung von Wasserstandsdaten

© Patzke, 2018