

# Orkan „Xaver“ – Seegangstatistik an den Stationen FINO 1 und Borkum-Südstrand

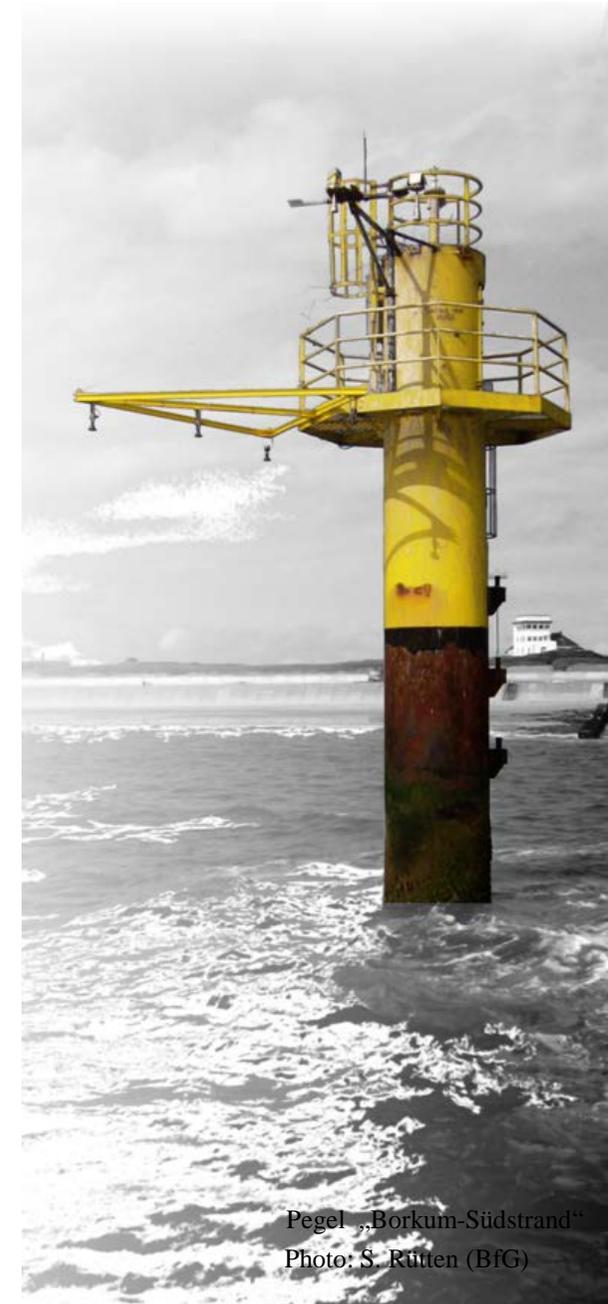
S. Mai, J. Wilhelmi, T. Zenz, U. Barjenbruch  
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)

19. KFKI-Seminar

Bremerhaven, 11.11.2014

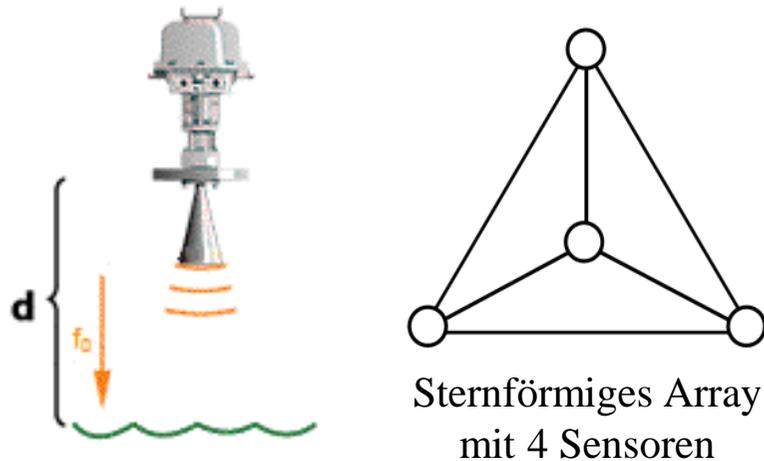


Forschungsplattform FINO 1, Photo: S. Rütten (BfG)



Pegel „Borkum-Südstrand“  
Photo: S. Rütten (BfG)

# Berührungslose Wasserstands- und Seegangsmessung



## Messprinzip eines einzelnen Radarsensors:

- Messung der Laufzeit eines Radarpulses vom Sensor zur Wasseroberfläche
- Proportionalität von Laufzeit und Abstand
- Ergebnis: Zeitreihen der Wasserspiegelauslenkung

## Messprinzip des Arrays von Radarsensoren:

- Kreuzkorrelation der Zeitreihen der Wasserspiegelauslenkung
- Ergebnis: Seegangsrichtungsspektrum

## Mindestanfordernis zur Richtungsbestimmung:

- 3 einzelne Radarsensoren

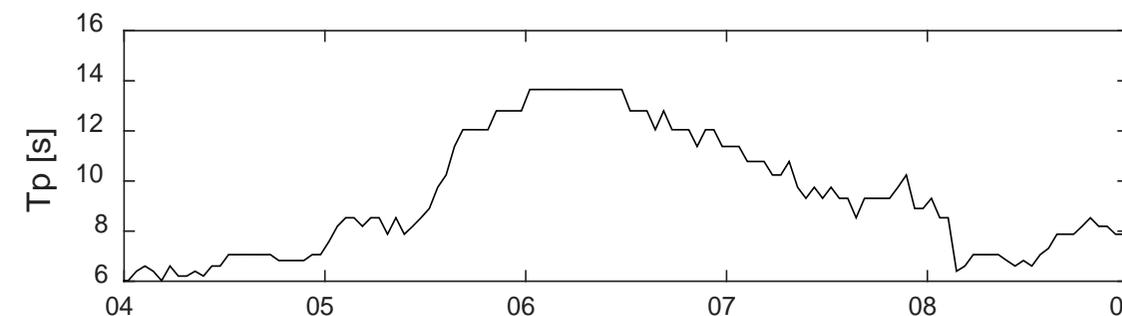
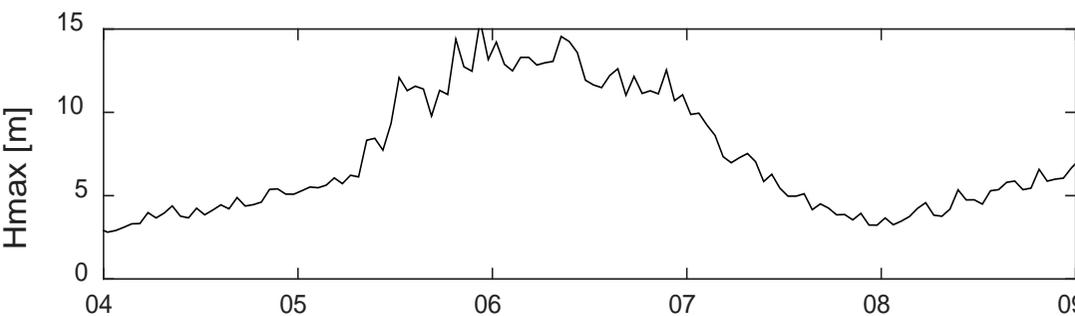
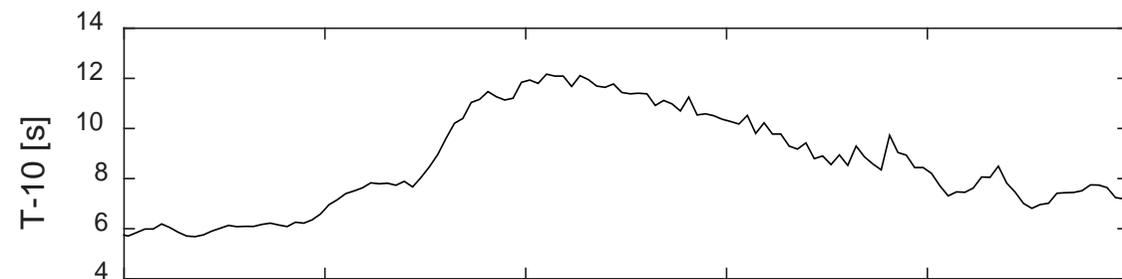
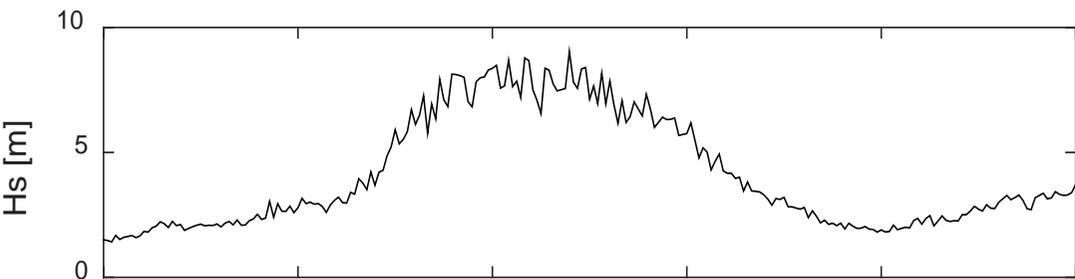
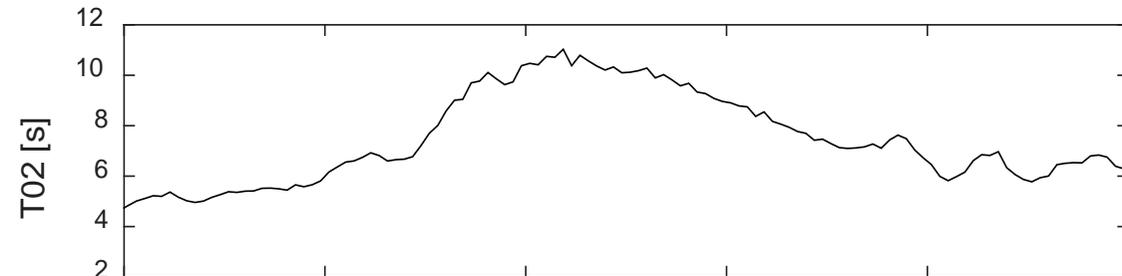
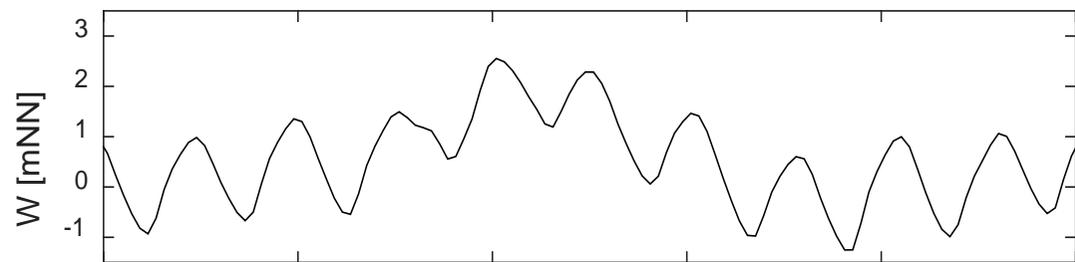
## Verwendeter Sensortyp: Vegapuls 61

## Zusatznutzen:

- Redundanz in der Messung von 1-D Wellenparametern
- 1-D Seegangsspektrum und Wasserstand

# Seegangbedingungen bei FINO 1

## Charakteristische Seegangparameter

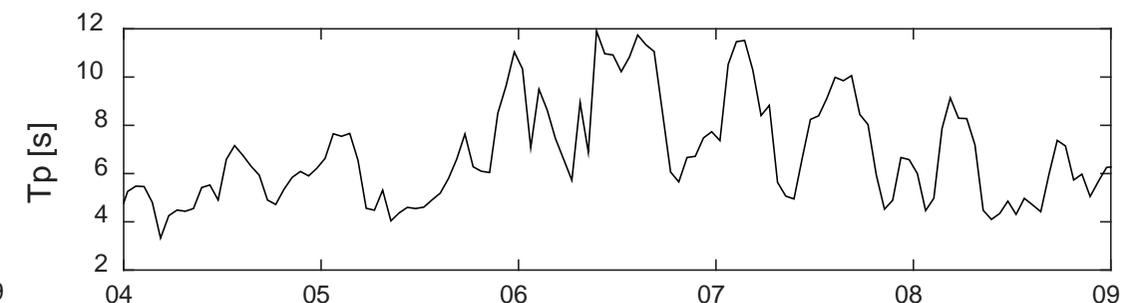
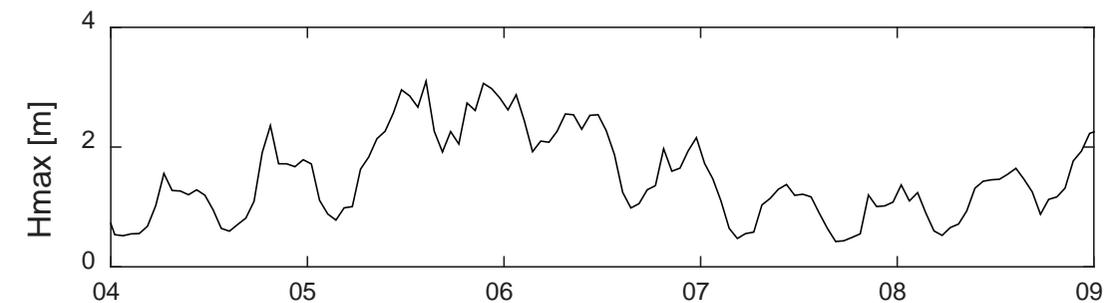
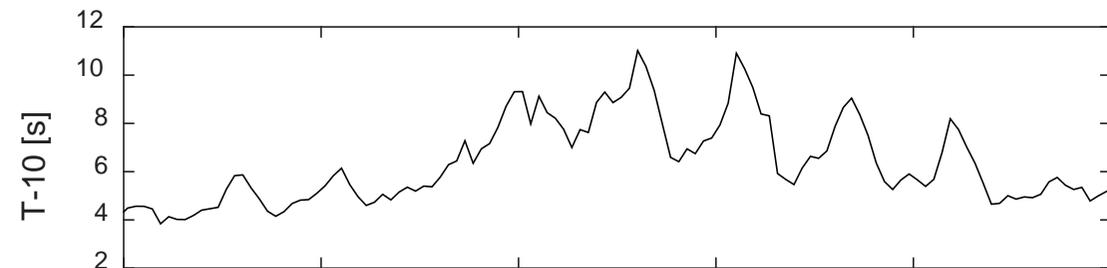
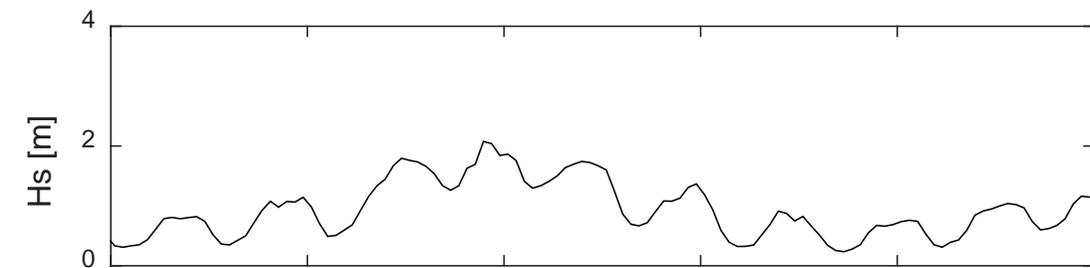
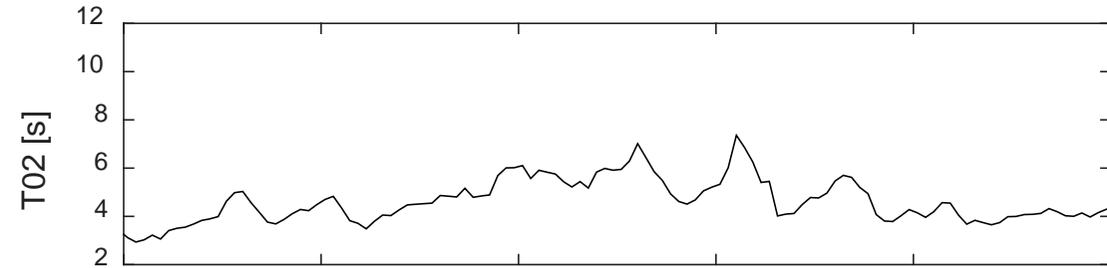
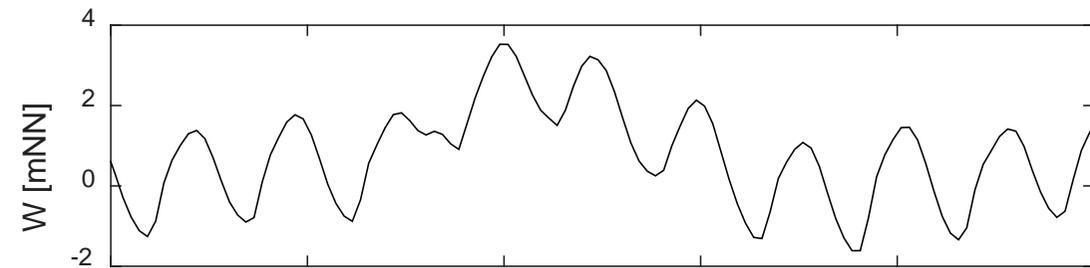


Tag im Dezember 2013

Tag im Dezember 2013

# Seegangsbedingungen bei Borkum-Südstrand

## Charakteristische Seegangparameter

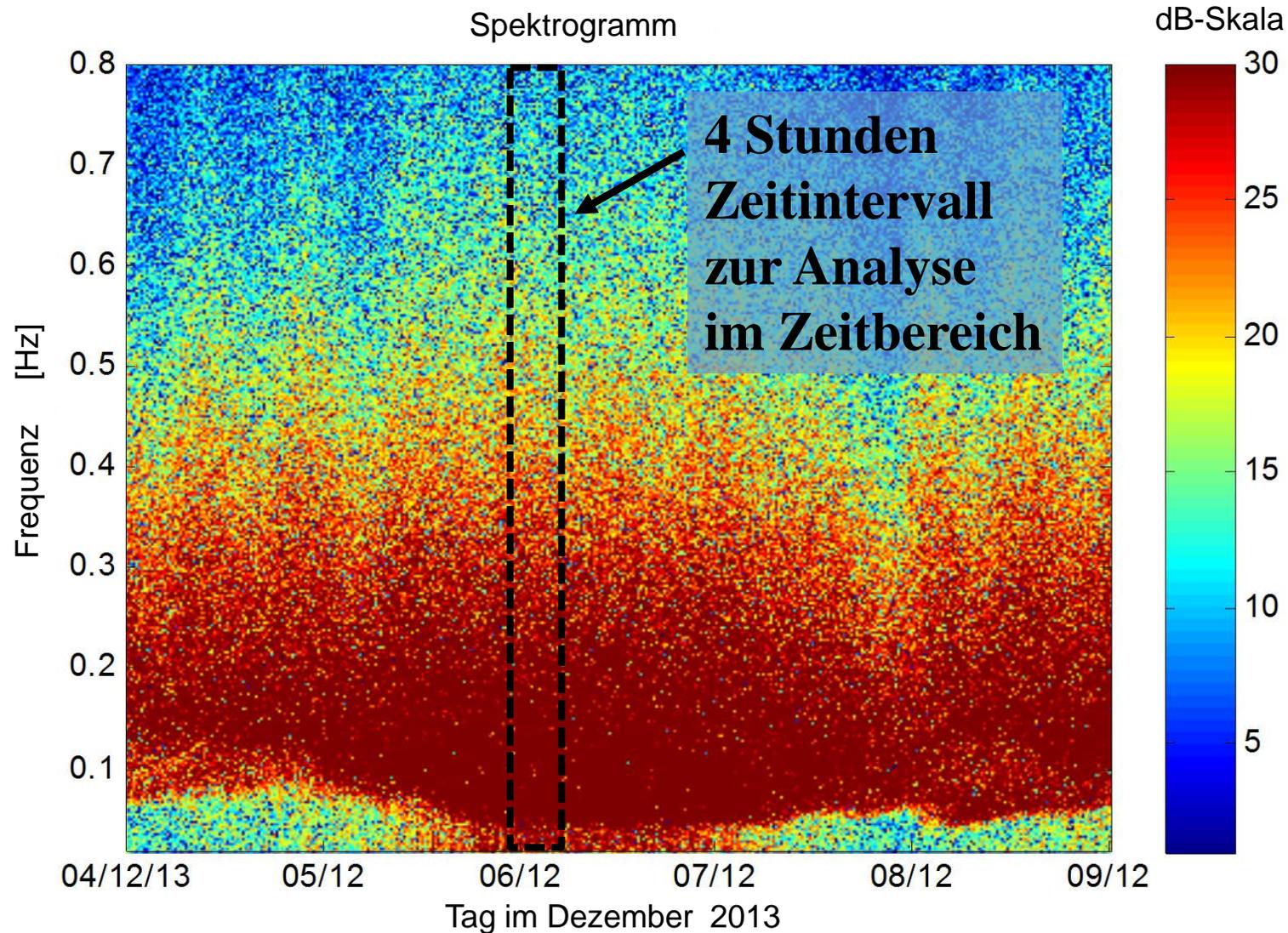


Tag im Dezember 2013

Tag im Dezember 2013

# Seegangbedingungen bei FINO 1

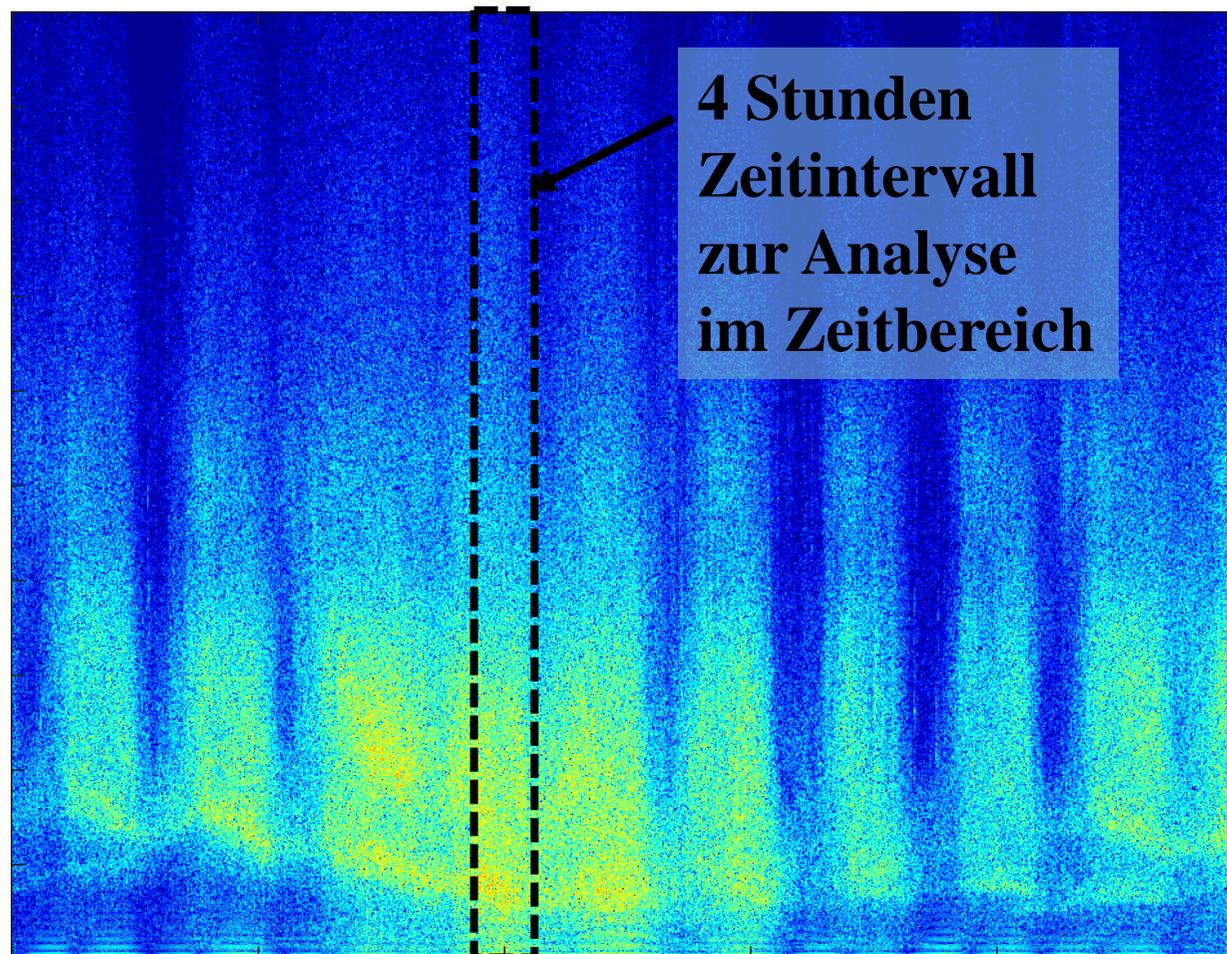
## Zeitliche Entwicklung des Seegangsspektrums



# Seegangsbedingungen bei Borkum-Südstrand

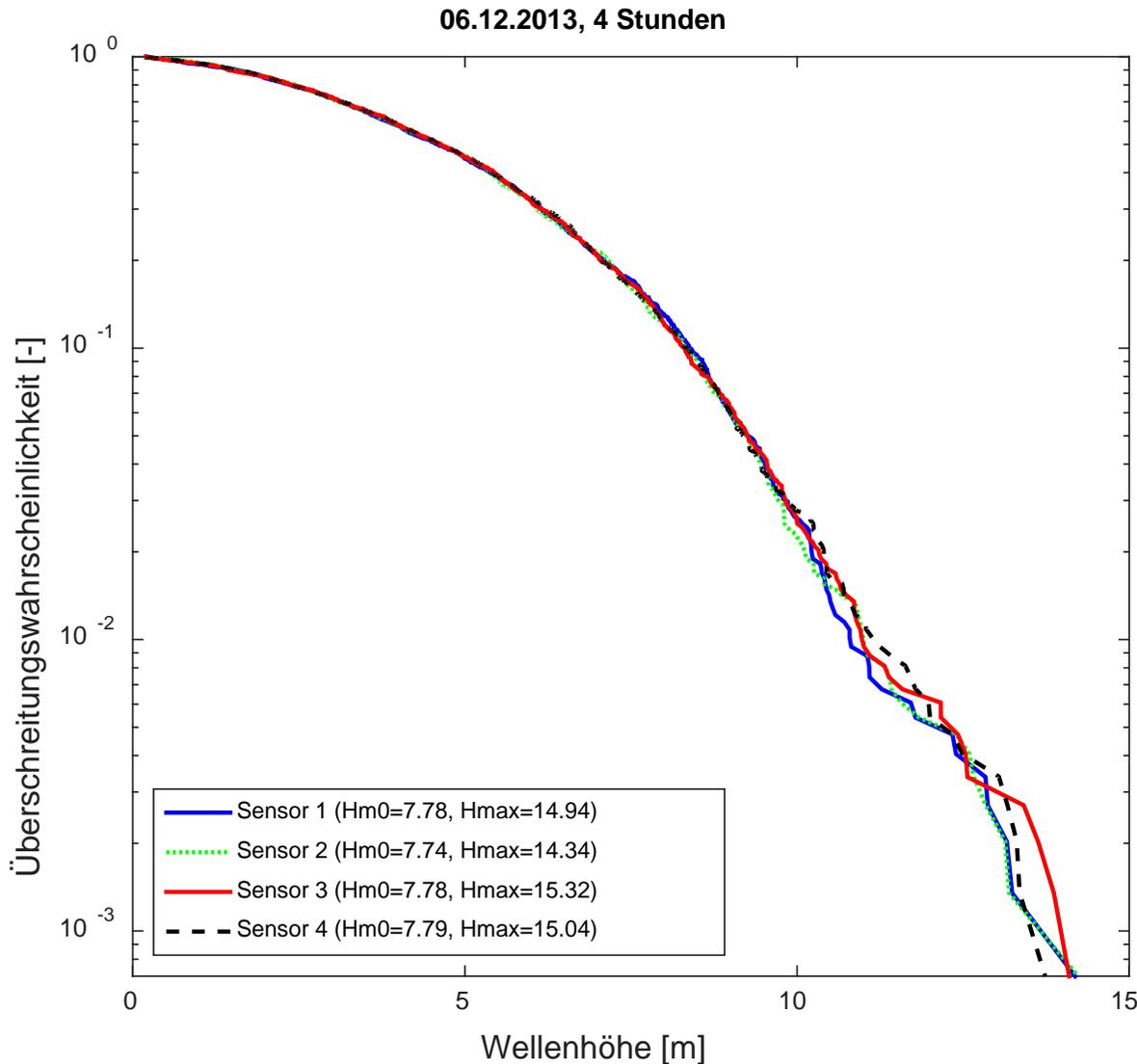
## Zeitliche Entwicklung des Seegangsspektrums

dB-Skala



# Seegangbedingungen bei FINO 1

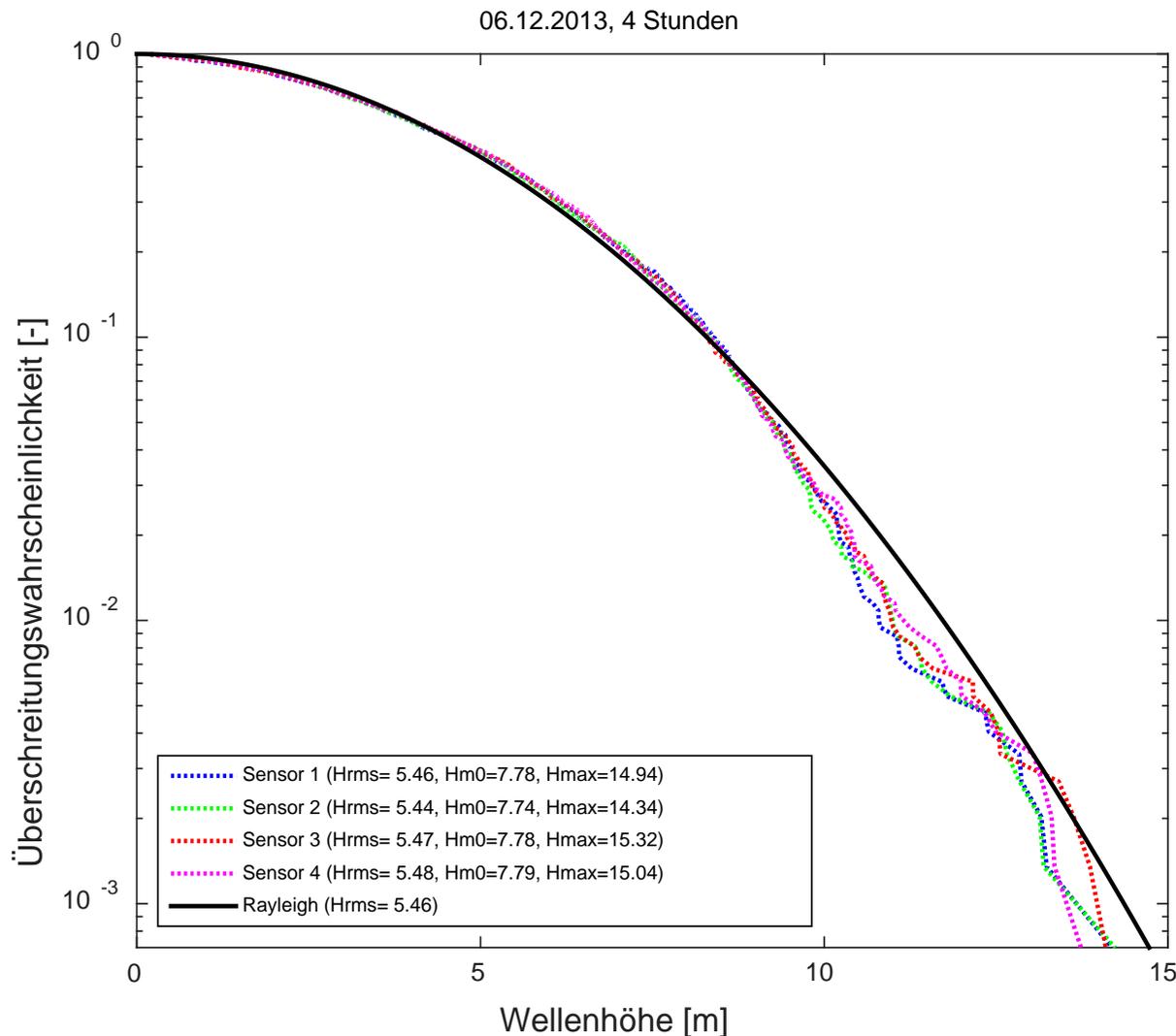
## Gemessene Wellenhöhen-Verteilung



- Die aus Messungen der 4 Sensoren gewonnenen Wellenhöhenstatistiken stimmen bis zu einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $2 \cdot 10^{-2}$  überein.
- Für höhere Wellen ist durch die Messung mit 4 Sensoren eine Abschätzung der Messunsicherheit möglich.
- Die maximale Abweichung der Wellenhöhe während des Orkans „Xaver“ betrug:  
Wahrscheinlichkeit von  $10^{-2}$ :  $\max(\Delta H) = 0.4$  m  
Wahrscheinlichkeit von  $10^{-3}$ :  $\max(\Delta H) = 0.5$  m

# Seegangbedingungen bei FINO 1

Vergleich der gemessenen Wellenhöhenverteilung mit der Rayleigh-Verteilung



Rayleigh-Verteilung

$$P(H) = \exp\left[-\left(\frac{H}{H_{\text{rms}}}\right)^2\right]$$

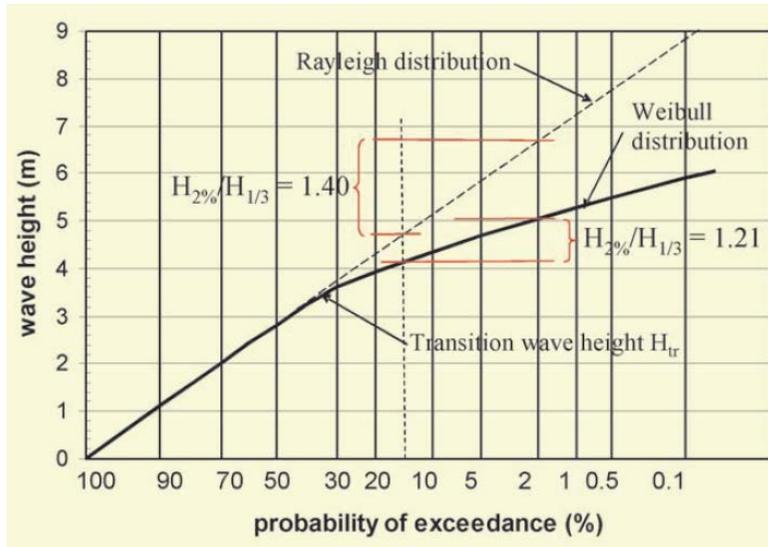
- Die Rayleigh-Verteilung überschätzt die Wahrscheinlichkeit hoher Wellen während des Orkans „Xaver“
- Eine Ursache hierfür kann das Auftreten von Wellenbrechen infolge der begrenzten Wassertiefe von 30 m sein.

Zur Berücksichtigung dieses Effekts wurden verschiedene alternative Verteilungsfunktionen für Wellenhöhen vorgeschlagen, z.B. von

Battjes und Groenendijk (2000)

# Exkurs:

## Wellenhöhen-Verteilung von Battjes und Groenendijk (2000)



- Die Battjes/Groenendijk-Verteilung ist abschnittsweise definiert.
- Für niedrige Wellenhöhen entspricht sie der Rayleigh-Verteilung.
- Für höhere Wellenhöhen entspricht sie einer Weibull-Verteilung.
- Der Übergang zwischen den Verteilungen findet statt, sobald die Wellenhöhe größer ist als ca. 35% der Wassertiefe.
- Die Battjes-Groenendijk-Verteilung ist als Lösungsverfahren in das EurOtop-Handbuch aufgenommen.

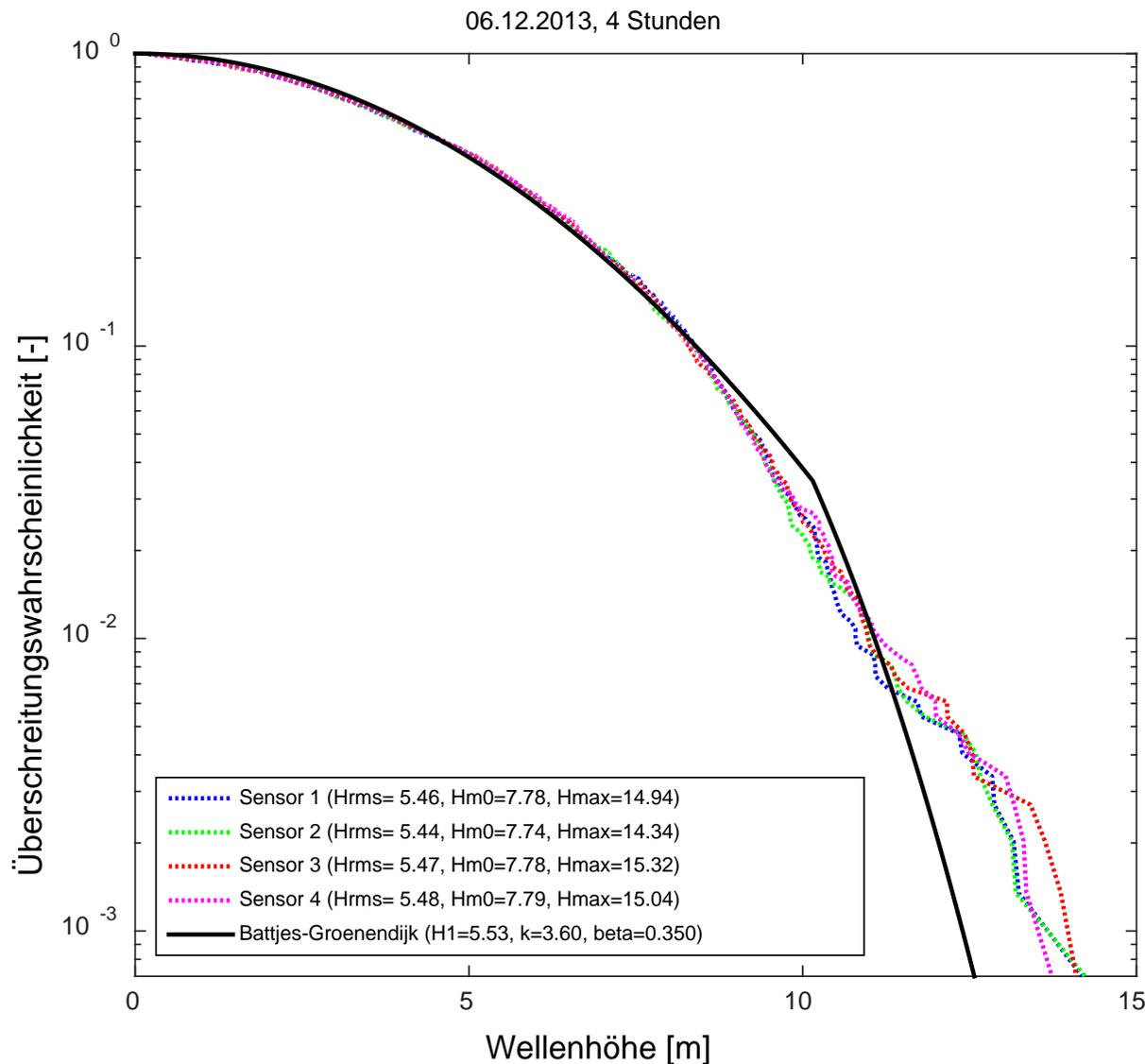
$$P(H) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{H^2}{H_1^2}\right) & H \leq H_{tr} \\ \exp\left(-\frac{H^k}{H_{tr}^{k-2} \cdot H_1^2}\right) & H \geq H_{tr} \end{cases}$$

$$H_{tr} = (\beta_{tr,1} + \beta_{tr,2} \tan \alpha) \cdot d$$

$$k=3,60 \quad \beta_{tr,1}=0,35 \quad \beta_{tr,2}=5,80$$

# Seegangbedingungen bei FINO 1

Vergleich der gemessenen Wellenhöhenverteilung mit der Battjes/Groenendijk-Verteilung



Battjes / Groenendijk - Verteilung

$$P(H) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{H^2}{H_1^2}\right) & H \leq H_{tr} \\ \exp\left(-\frac{H^k}{H_{tr}^{k-2} \cdot H_1^2}\right) & H \geq H_{tr} \end{cases}$$

$$H_{tr} = (\beta_{tr,1} + \beta_{tr,2} \tan \alpha) \cdot d$$

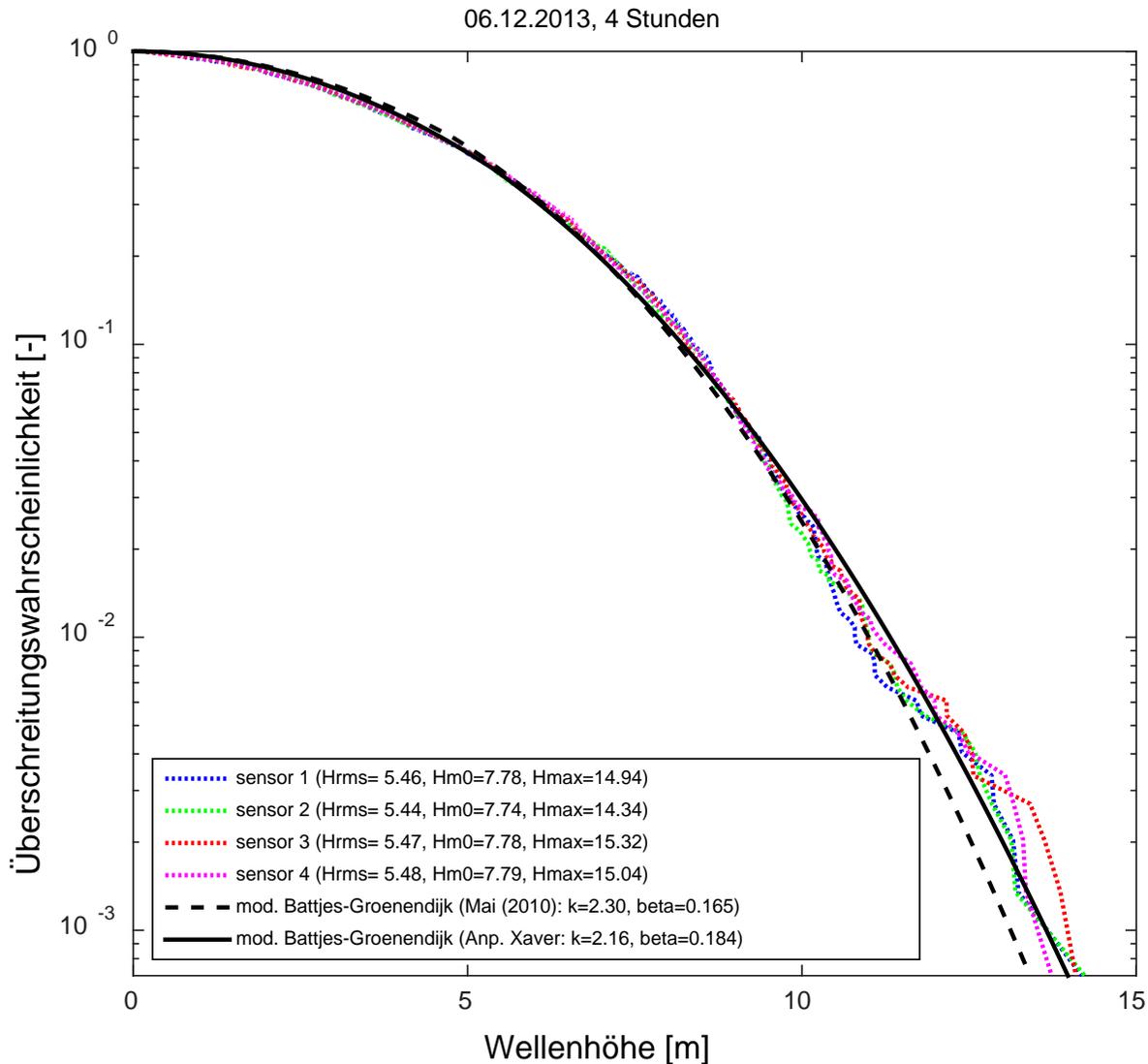
Parametersatz:  $k=3,60$   $\beta_{tr,1}=0,35$   $\beta_{tr,2}=5,80$

- Die Parametrisierung von Battjes / Gronendijk scheint für den Orkan „Xaver“ nicht optimal.
- Die Übergangswassertiefe (zwischen Rayleigh- und Weibull-Verteilung) scheint zu groß.
- Der Parameter k der Weibull-Verteilung scheint zu groß.

► Ansatz des EurOtop bedarf der Prüfung.

# Seegangbedingungen bei FINO 1

## Modifikation des Parametersatzes der Battjes/Groenendijk-Verteilung



### Battjes / Groenendijk-Verteilung

$$P(H) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{H^2}{H_1^2}\right) & H \leq H_{tr} \\ \exp\left(-\frac{H^k}{H_{tr}^{k-2} \cdot H_1^2}\right) & H \geq H_{tr} \end{cases}$$

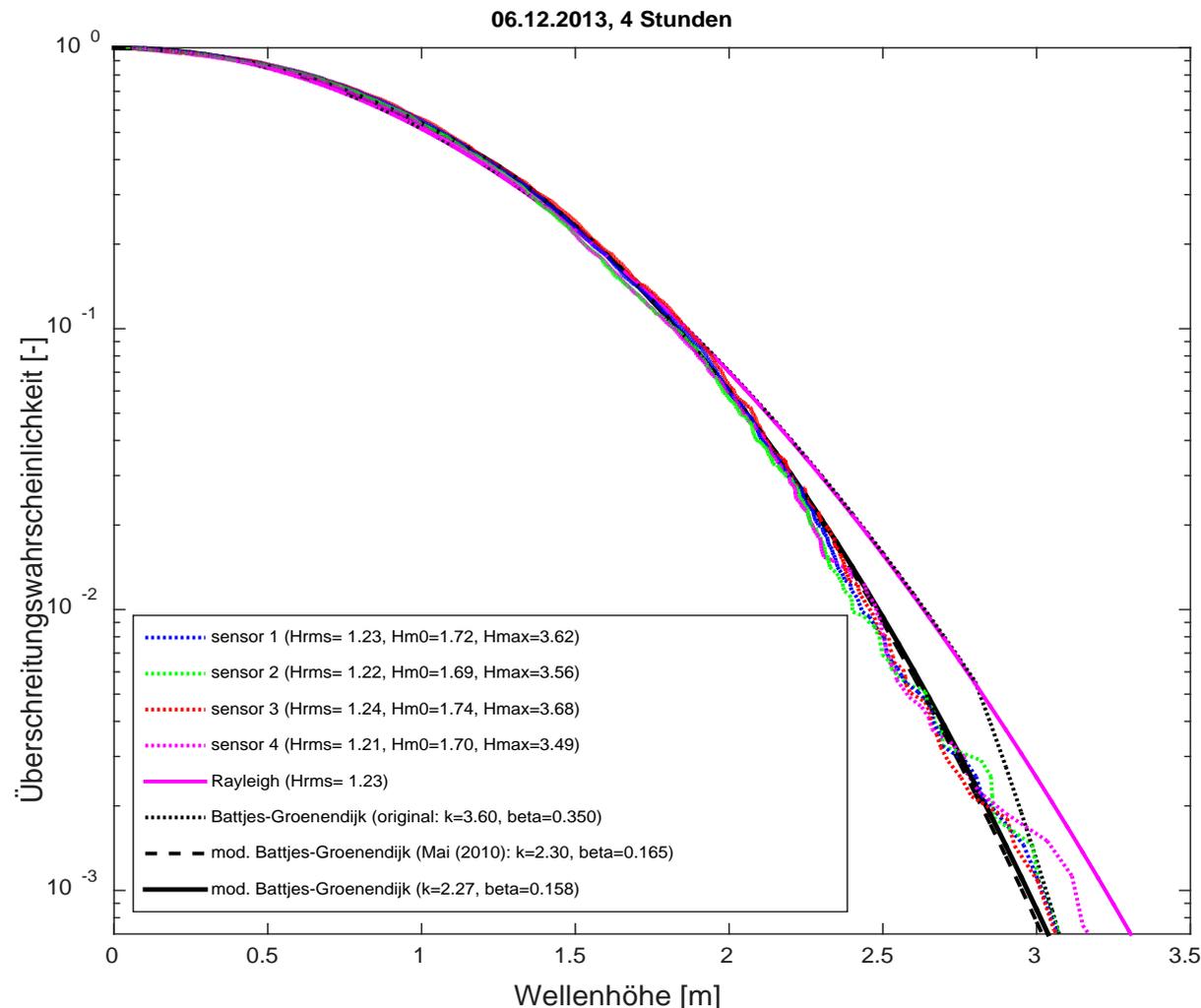
$$H_{tr} = (\beta_{tr,1} + \beta_{tr,2} \tan \alpha) \cdot d$$

Angepasster Parametersatz:  $k = 2.16 \quad \beta = 0.184$

- Deutliche Änderung des originären Parametersatzes von Battjes/Groenendijk
- Leichte Änderungen gegenüber einem bereits publizierten modifizierten Parametersatz  
 $k = 2.30, \beta = 0.165$  Mai (2010)  
 (während „Xaver“ beschreibt dieser die Verteilung gut für Wahrscheinlichkeiten  $P > 5 \cdot 10^{-3}$ )

# Seegangbedingungen bei Borkum-Südstrand

## Gemessenen Wellenhöhenverteilung und Vergleich mit verschiedenen Verteilungen



- Die aus Messungen der 4 Sensoren gewonnenen Wellenhöhenstatistiken stimmen bis zu einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $2 \cdot 10^{-3}$  überein.
- Die Rayleigh-Verteilung überschätzt die Wahrscheinlichkeit hoher Wellen während des Orkans „Xaver“
- Die Parametrisierung von Battjes / Groenendijk scheint für den Orkan „Xaver“ nicht optimal.
- Geänderte Parametrisierung (vgl. Mai (2010)) der Battjes-Groenendijk-Verteilung führt zu deutlich besserer Übereinstimmung.

# Zusammenfassung

## Seegangsstatistik an den Stationen FINO 1 und Borkum-Südstrand

- Während des Orkans „Xaver“ wurden mit dem Radar-Array folgende maximalen Wellenhöhen gemessen:

FINO 1:	$H_s = 9,04 \text{ m}$	$H_{\max} = 15,5 \text{ m}$
Borkum-Südstrand:	$H_s = 1,92 \text{ m}$	$H_{\max} = 3,68 \text{ m}$

- In der Wellenhöhenstatistik zeigt sich der Einfluss der begrenzten Wassertiefe. Die Rayleigh-Verteilung überschätzt die Wahrscheinlichkeit hoher Wellen.
- Die im EurOtop empfohlene Wellenhöhenverteilung nach Battjes/Groenendijk scheint in Bezug auf die Parametrisierung einer deutlichen Modifizierung zu bedürfen.



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Stephan Mai

Referat M1 (Hydrometrie und gewässerkundliche Begutachtung)

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Telefon: +49-261-1306-5322, Fax: +49-261-1306-5363

E-Mail: [mai@bafg.de](mailto:mai@bafg.de)

[www.bafg.de](http://www.bafg.de)