



Seegangsmessung mit Radar

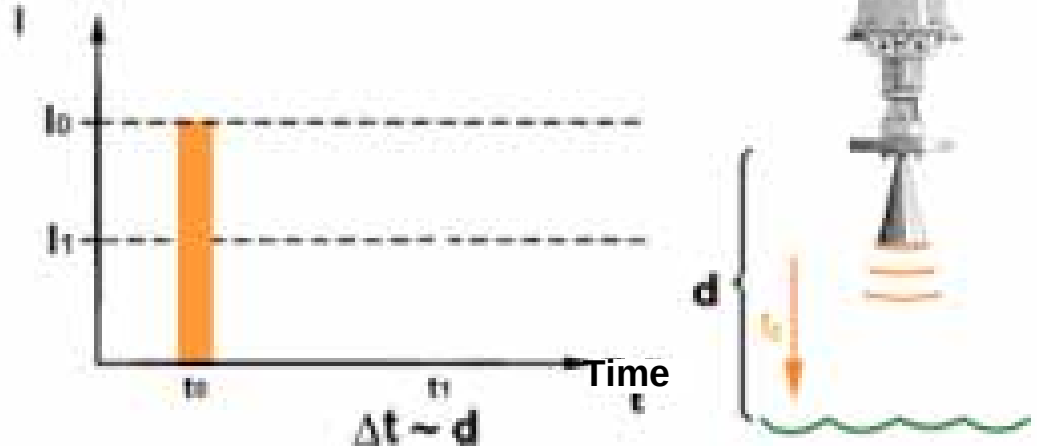
*Optimierung von schnellen Radar-
Wasserstandspegeln unter
Laborbedingungen*



Prof. Dr.-Ing. Claus Zimmermann
Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. Stephan Mai
Dipl.-Ing. Kai Irschik

Bremerhaven, 29.10.2003

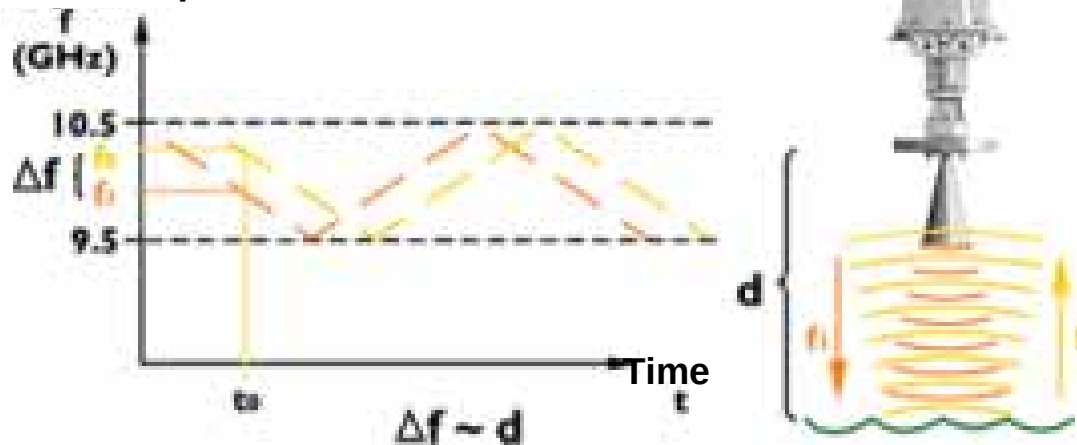
Radar Intensität



time-domain reflectometry
(TDR)

$$d \propto \Delta t$$

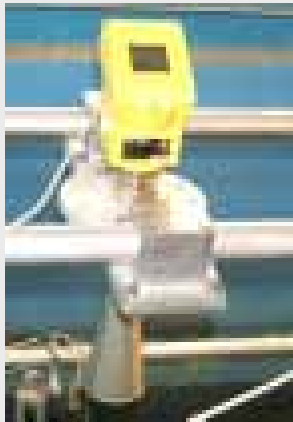
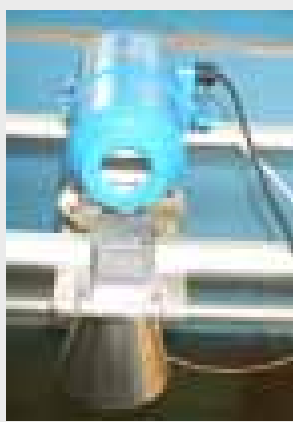
Radar Frequenz



frequency modulated
continuous wave
(FMCW)

$$d \propto \Delta f$$

Meßprinzip von Radarpegeln

VEGA Puls42	Endress + Hauser Micropilot M FMR 240	Siemens Sitrans LR300	Krohne BM 70P	Radac ENRAFF WAVEGUIDE
				
TDR	TDR	TDR	FMCW	FMCW
26 GHz	26 GHz	5,8 GHz	8,5 – 9,9 GHz	9,5 GHz

Wellenkanal Schneiderberg WKS



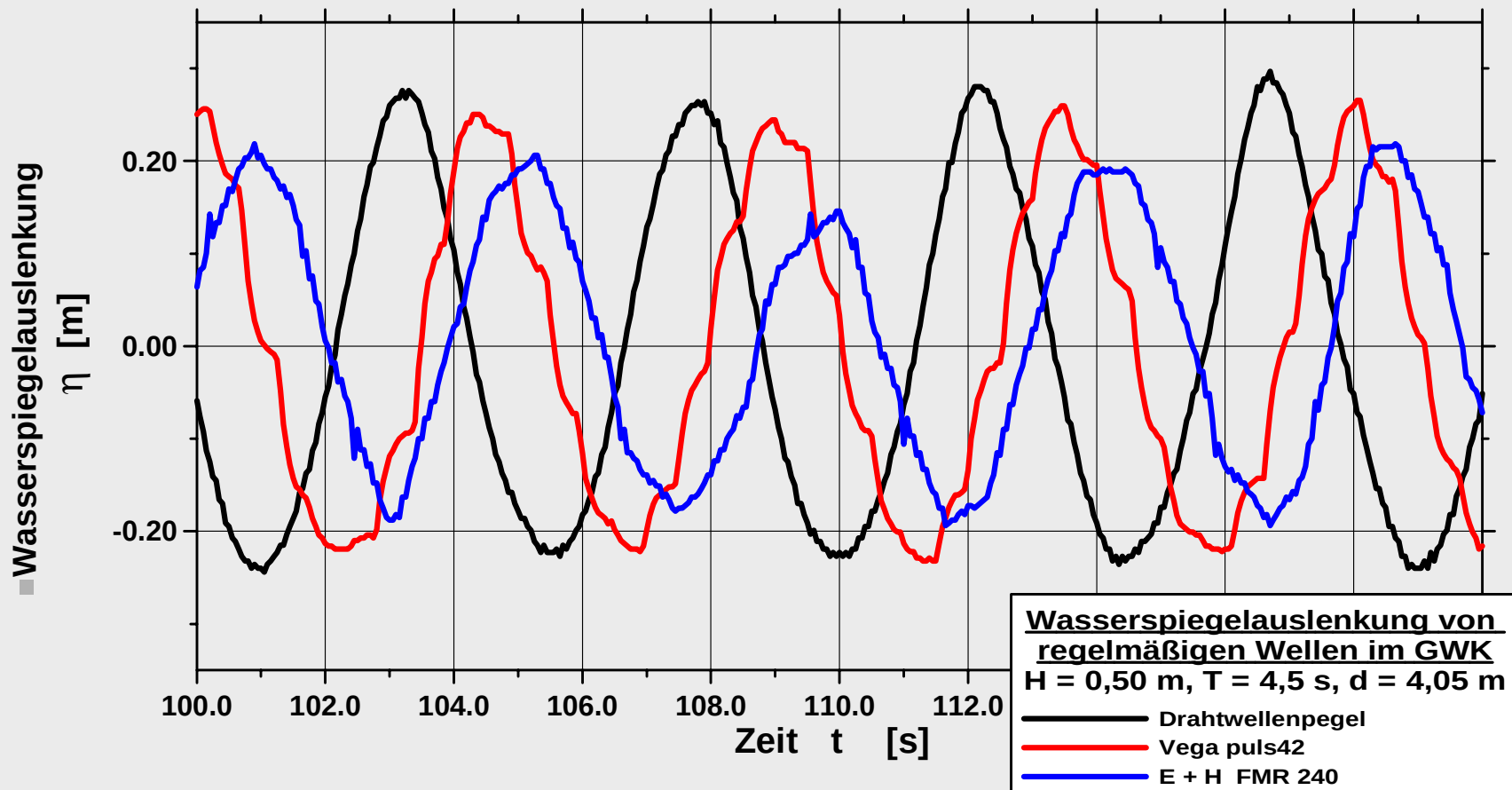
Großer Wellenkanal GWK



Versuchsaufbau in den Wellenkanälen WKS und GWK

Stephan Mai

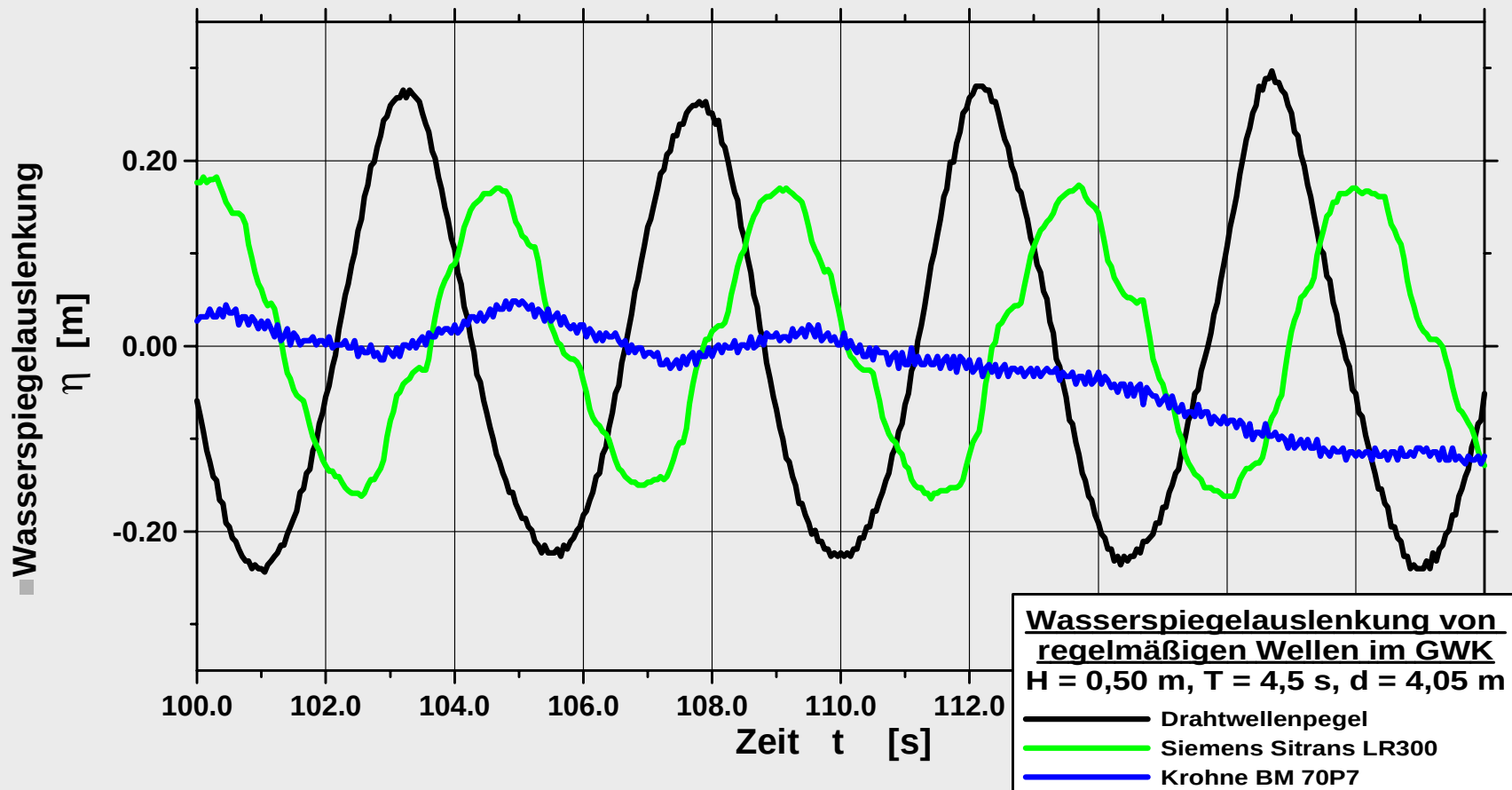
Seegangsmessung mit Radar



Zeitreihe der Wasserspiegelauslenkung
(Radarsensoren mit Herstellerkonfiguration)

Stephan Mai

Seegangsmessung mit Radar

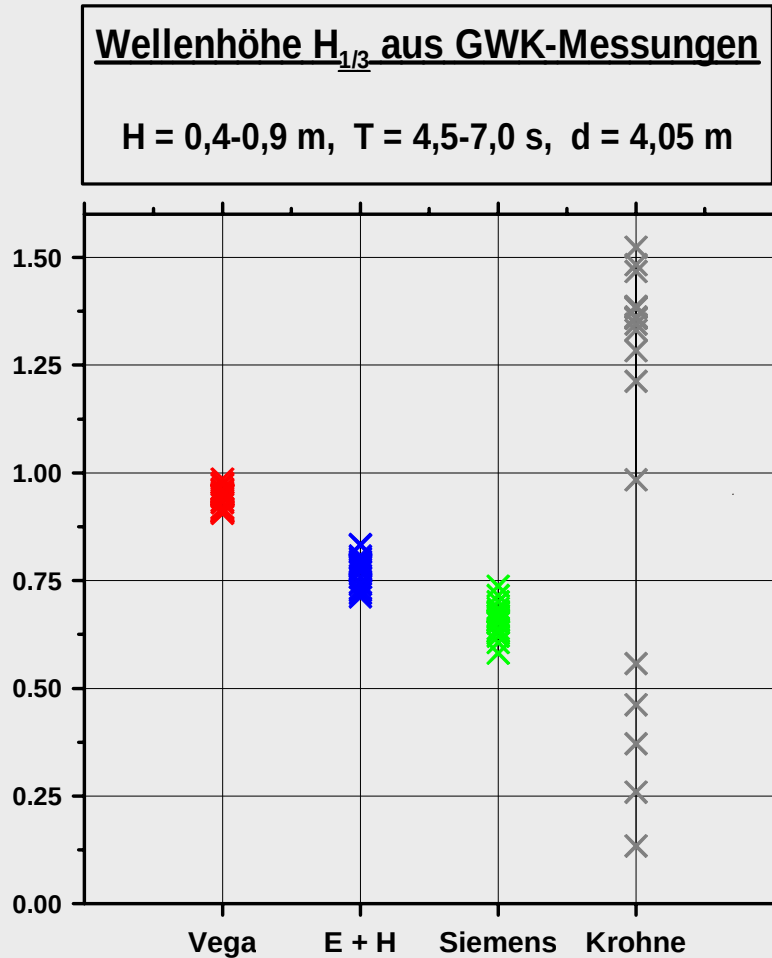


Zeitreihe der Wasserspiegelauslenkung
(Radarsensoren mit Herstellerkonfiguration)

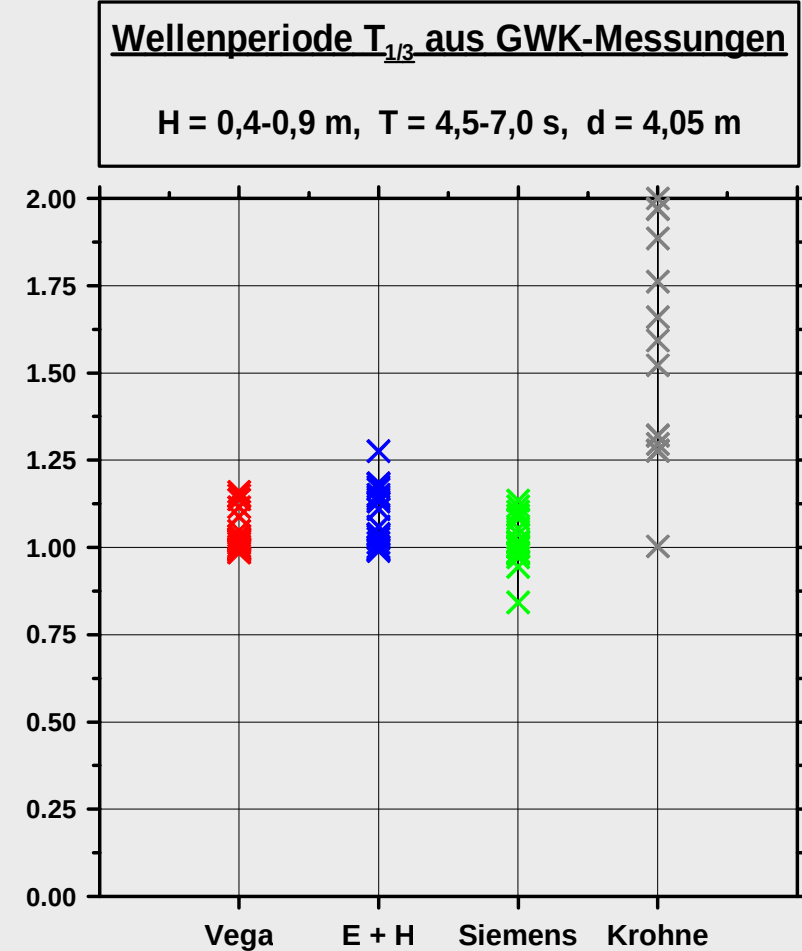
Stephan Mai

Seegangsmessung mit Radar

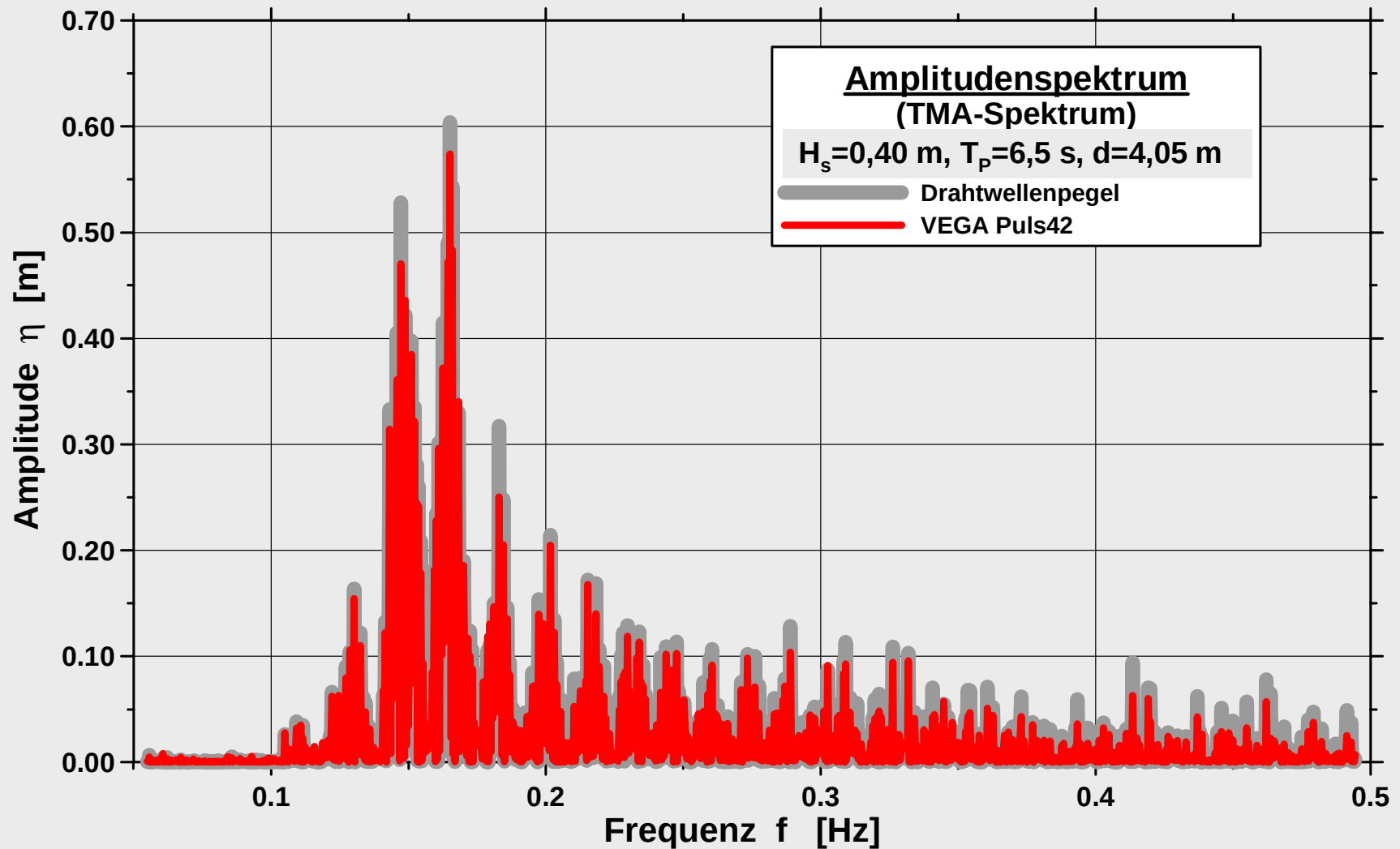
Verhältnis der signifikanten Wellenhöhe
 $H_{1/3, \text{RADAR Pegel}} / H_{1/3, \text{Drahtwellenpegel}} [-]$



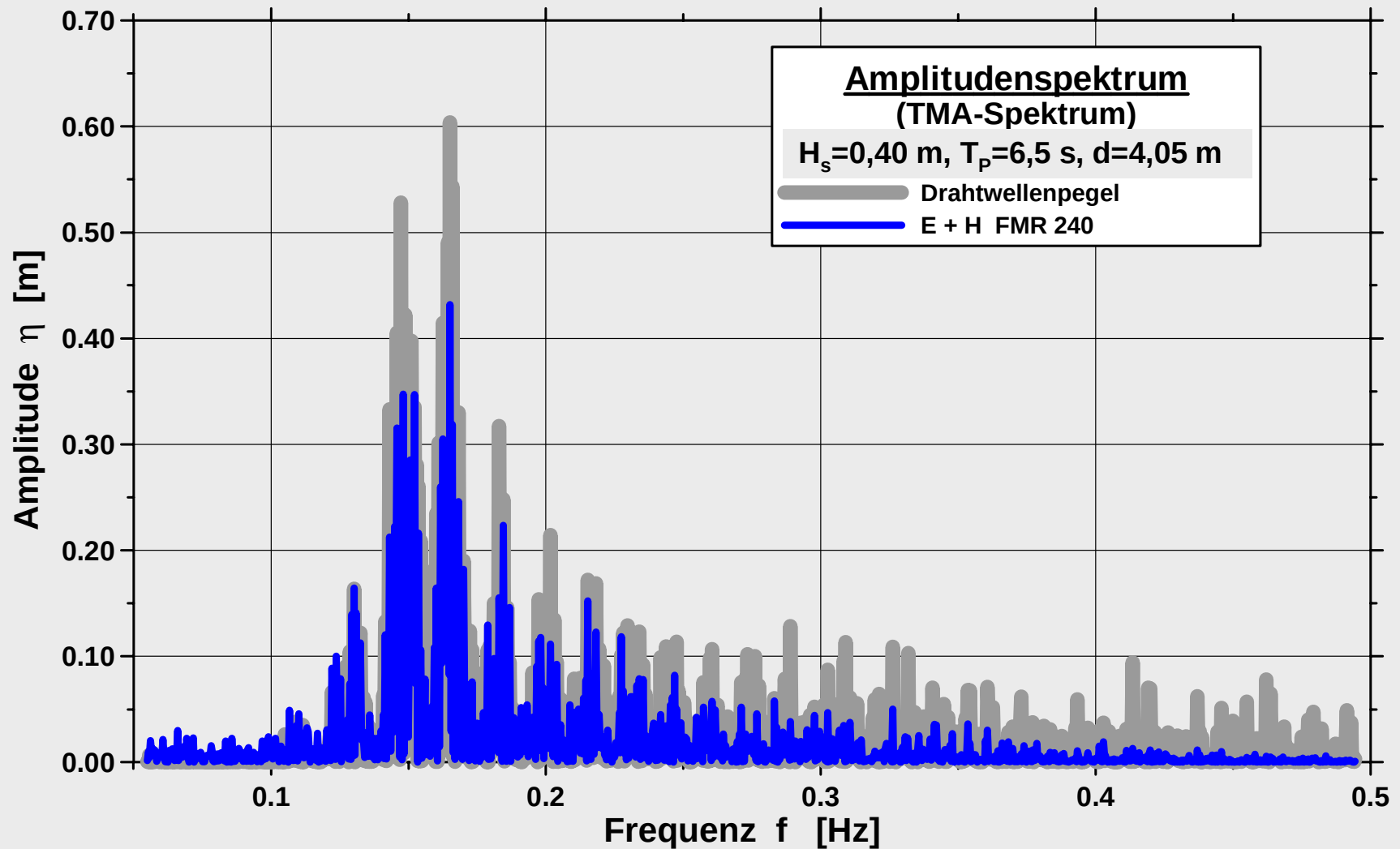
Verhältnis der signifikanten Wellenperiode
 $T_{1/3, \text{RADAR Pegel}} / T_{1/3, \text{Drahtwellenpegel}} [-]$



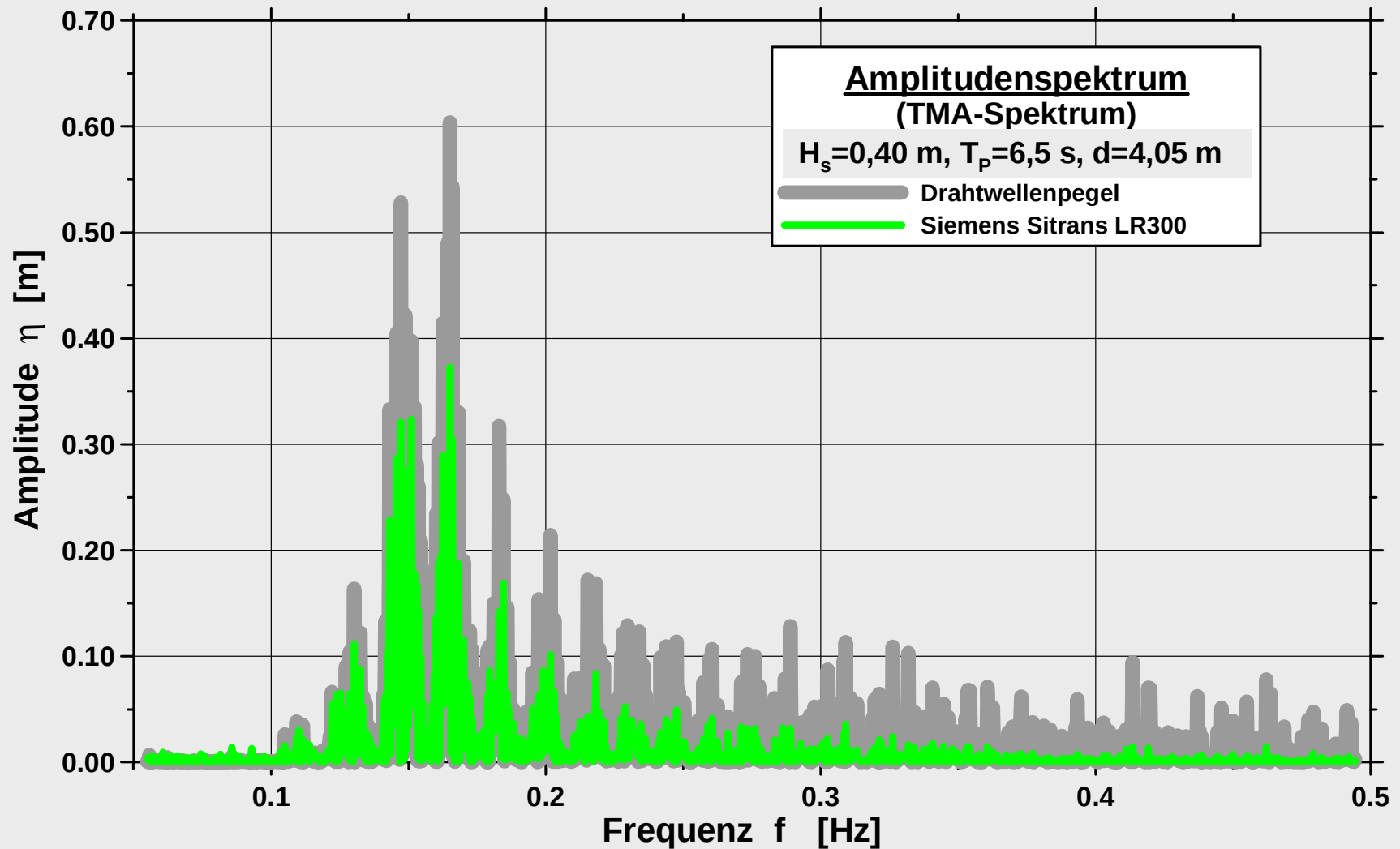
Anwendbarkeit zur Seegangsmessung
(Radarsensor mit Herstellerkonfiguration)



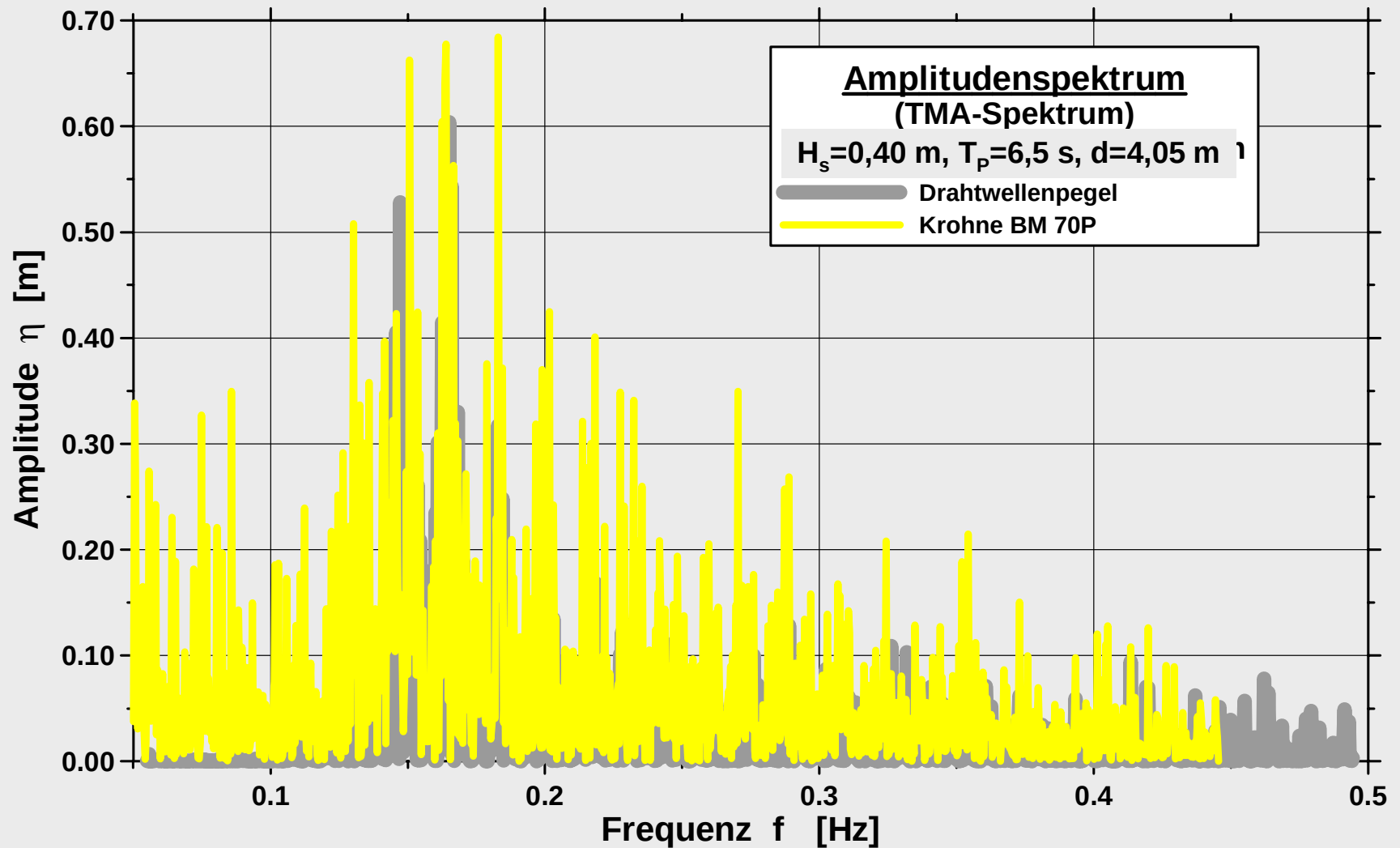
Amplitudenspektrum der Wasserspiegelauslenkung
(Radarsensor mit Herstellerkonfiguration)



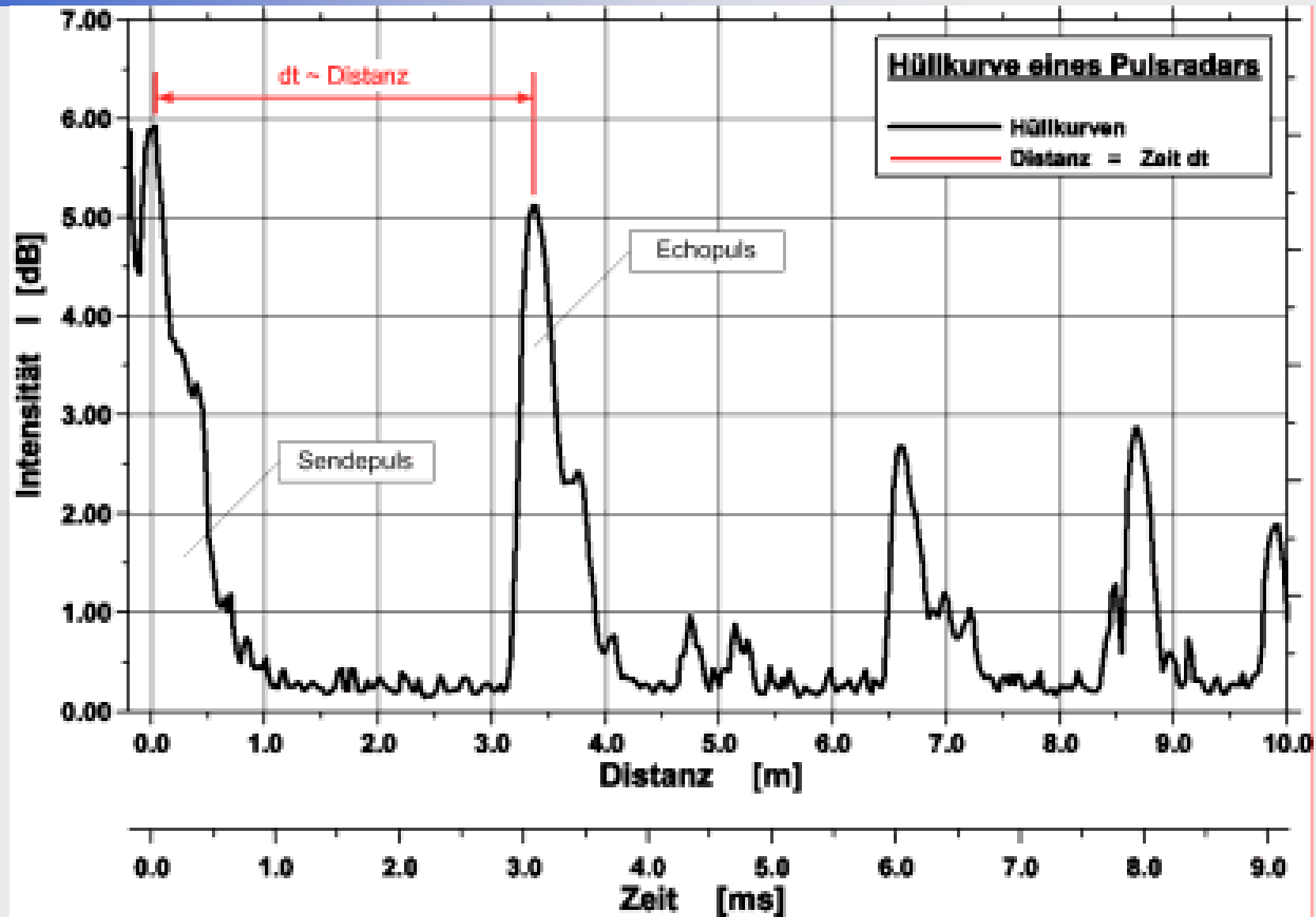
Amplitudenspektrum der Wasserspiegelauslenkung
(Radarsensor mit Herstellerkonfiguration)



Amplitudenspektrum der Wasserspiegelauslenkung
(Radarsensor mit Herstellerkonfiguration)



Amplitudenspektrum der Wasserspiegelauslenkung
(Radarsensor mit Herstellerkonfiguration)



Typisches Radarrückstreusignal

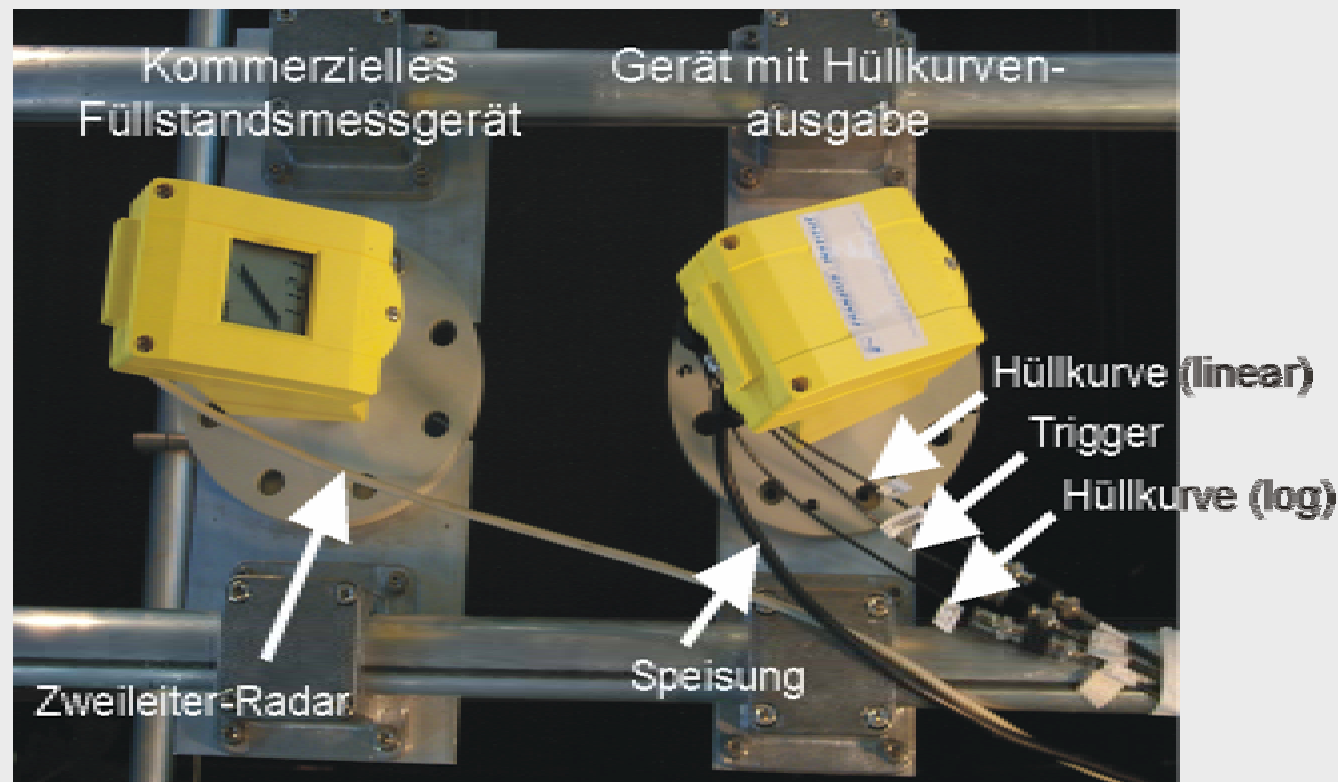
Vega Puls 42 Serienmodell

Pulsradar
26 GHz Technologie
Zweileiter-Radar

Vega Puls 42 Prototyp

Pulsradar
26 GHz Technologie
Vierleiter: Speisung, 2 Hüllkurven und
Triggerausgang

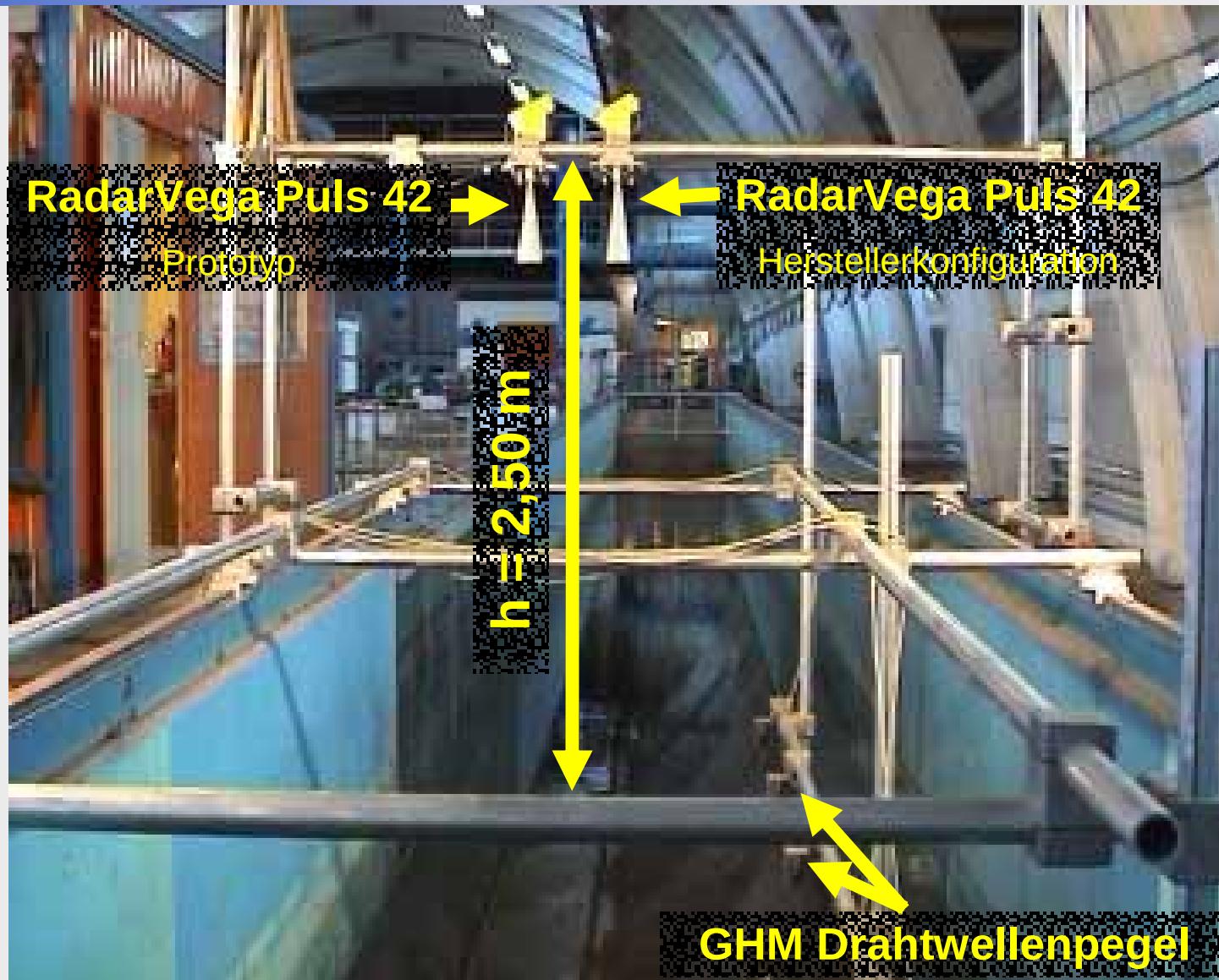
Seegangsmessung mit Radar



Modifikation der Radars zur Analyse der Signalbildung

Stephan Mai

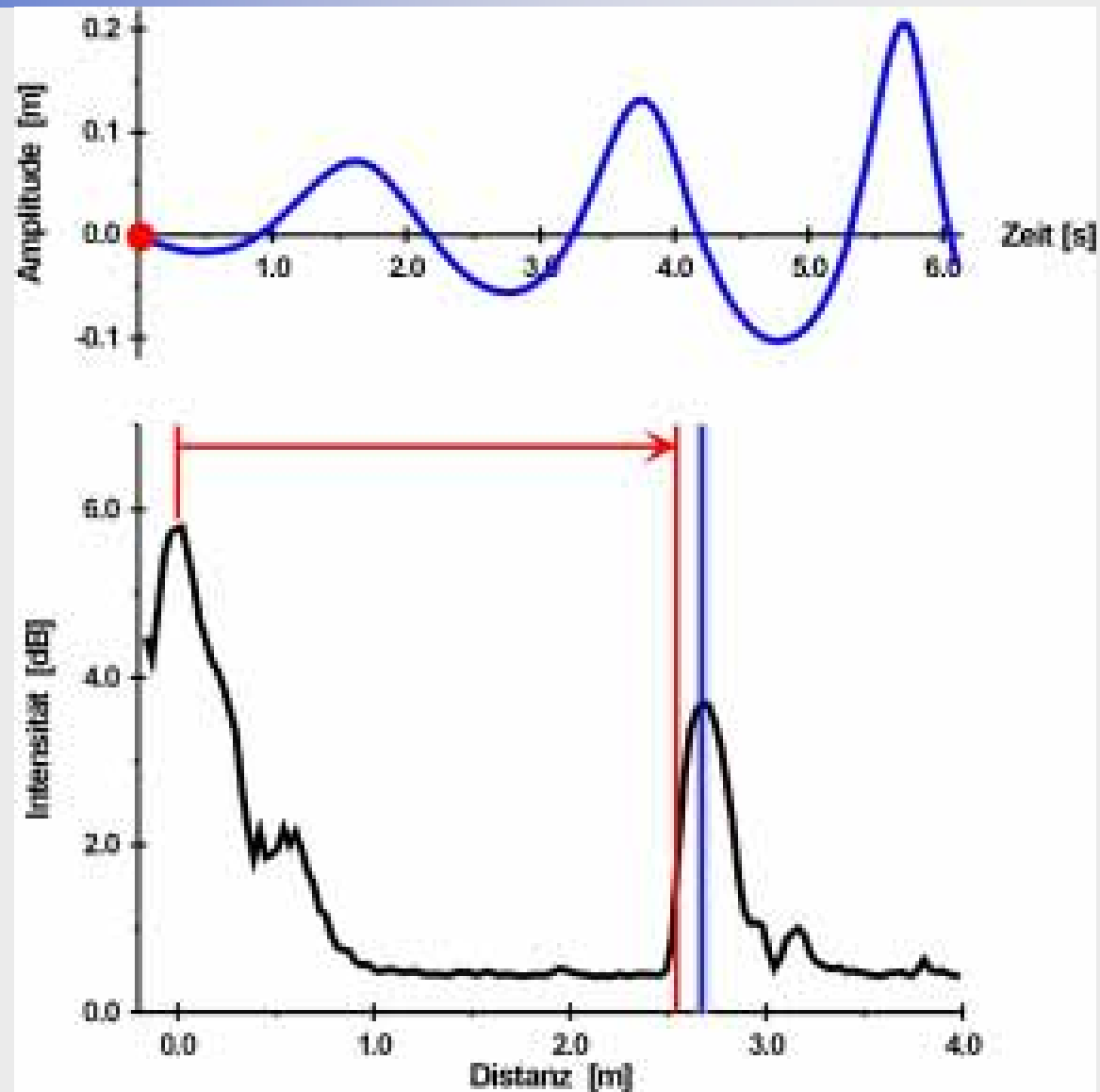
Seegangsmessung mit Radar



Vergleich: Herstellerkonfiguration vs. Prototyp des Vega Puls 42

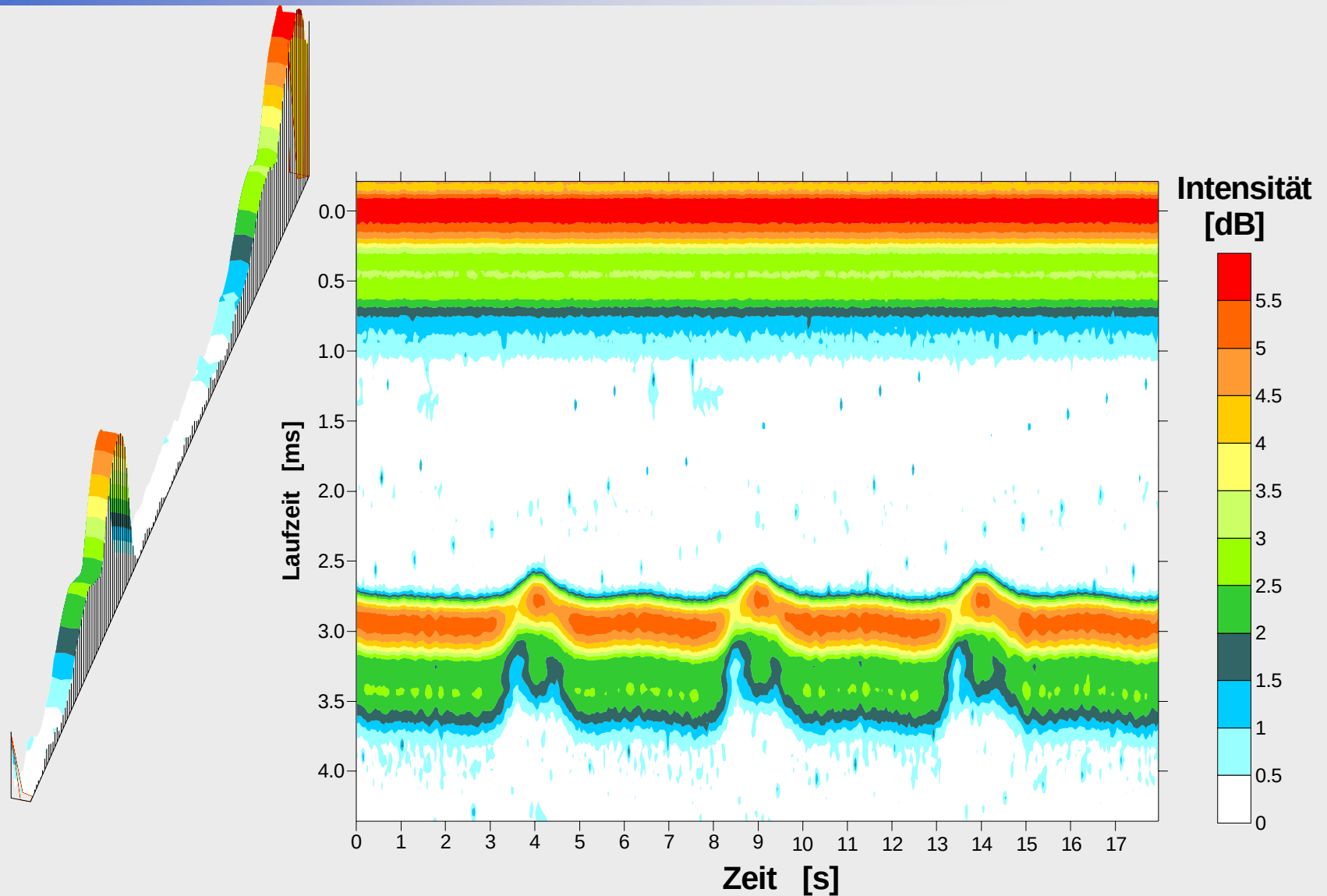
Stephan Mai

Seegangsmessung mit Radar



Signalbildung an wellenbewegter Wasseroberfläche

Seegangsmessung mit Radar



Signalbildung an wellenbewegter Wasseroberfläche

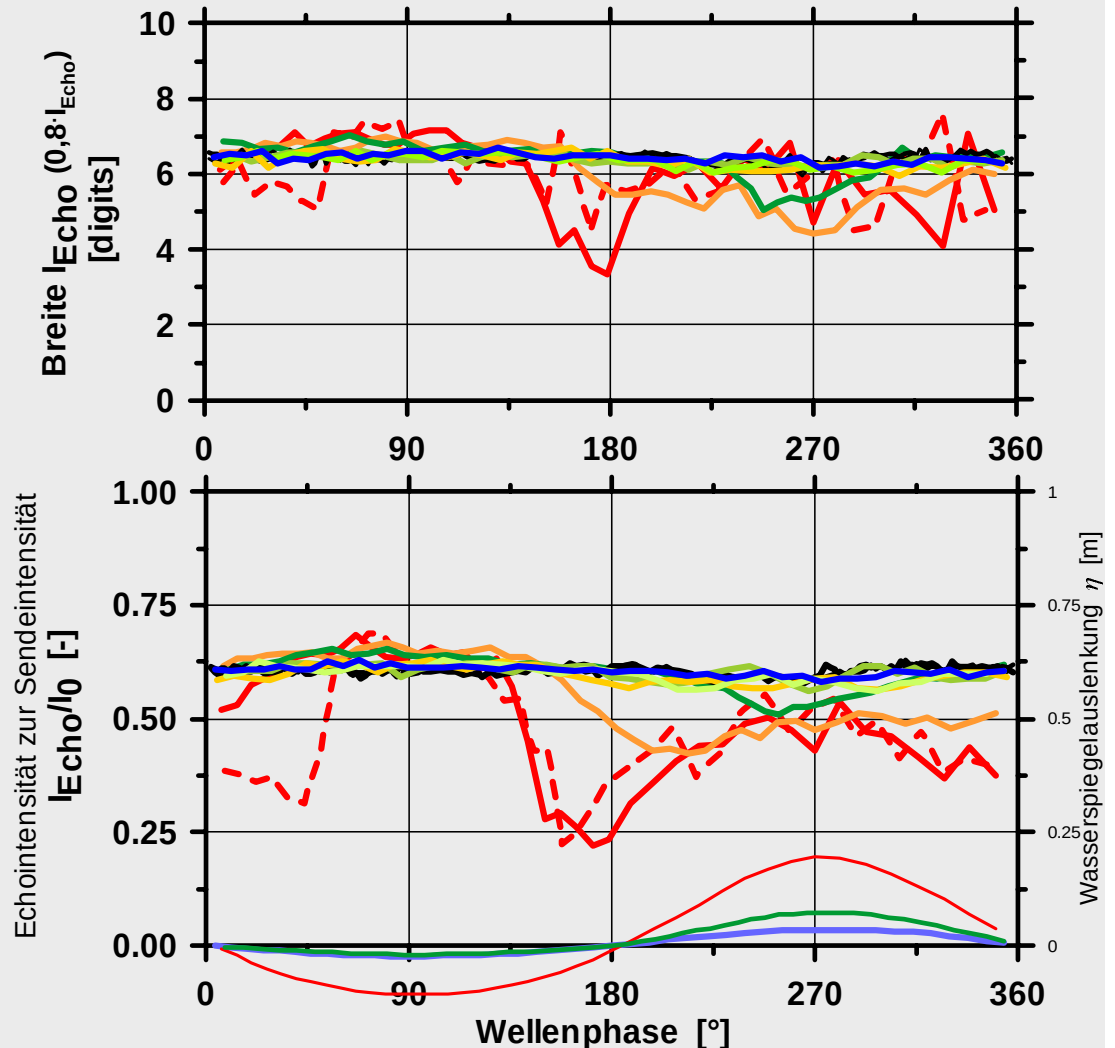
Stephan Mai

Charakteristika des Radar-Rückstreusignals

(1,5"-Antenne, $h = 2,5$ m)

bei regelmäßigem Seegang
unterschiedlicher Wellensteilheiten

- Referenz: $H/(gT^2) = 8,1 \cdot 10^{-3}$
- Referenz: $H/(gT^2) = 7,8 \cdot 10^{-3}$
- Referenz: $H/(gT^2) = 4,8 \cdot 10^{-3}$
- Referenz: $H/(gT^2) = 3,1 \cdot 10^{-3}$
- Referenz: $H/(gT^2) = 2,6 \cdot 10^{-3}$
- Referenz: $H/(gT^2) = 2,2 \cdot 10^{-3}$
- Referenz: $H/(gT^2) = 2,0 \cdot 10^{-3}$
- Referenz: $H/(gT^2) = 1,4 \cdot 10^{-3}$
- Referenz: $H/(gT^2) = 0,3 \cdot 10^{-3}$
- Referenz: $H/(gT^2) = 0,3 \cdot 10^{-3}$



Seegangsmessung mit Radar

Signalbildung an wellenbewegter Wasseroberfläche

Stephan Mai

Glatte Wasseroberfläche

Rauhe Wasseroberfläche



Seegangsmessung mit Radar

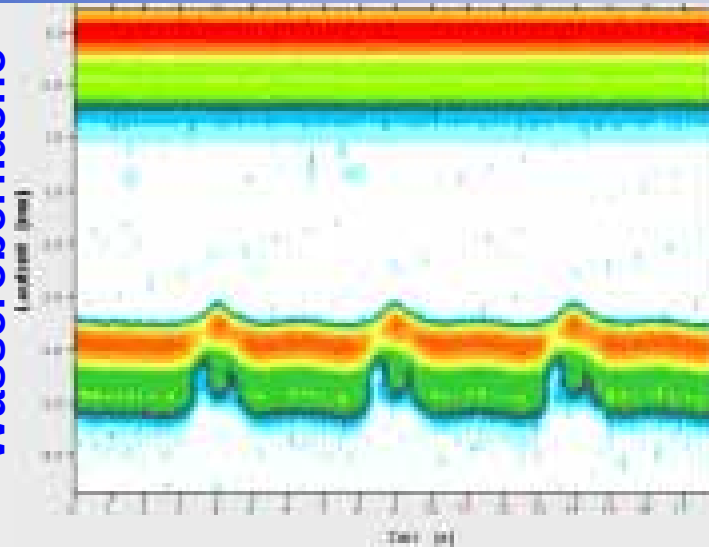
Einfluß der Wasserspiegelrauhigkeit auf die Seegangsmessung

Stephan Mai

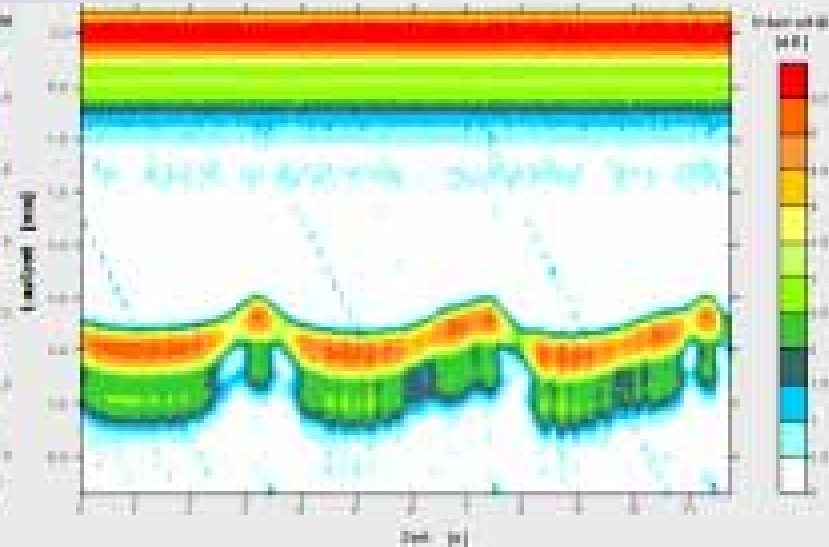
Seegangsmessung mit Radar

4"-Antenne
(h = 2,5 m)

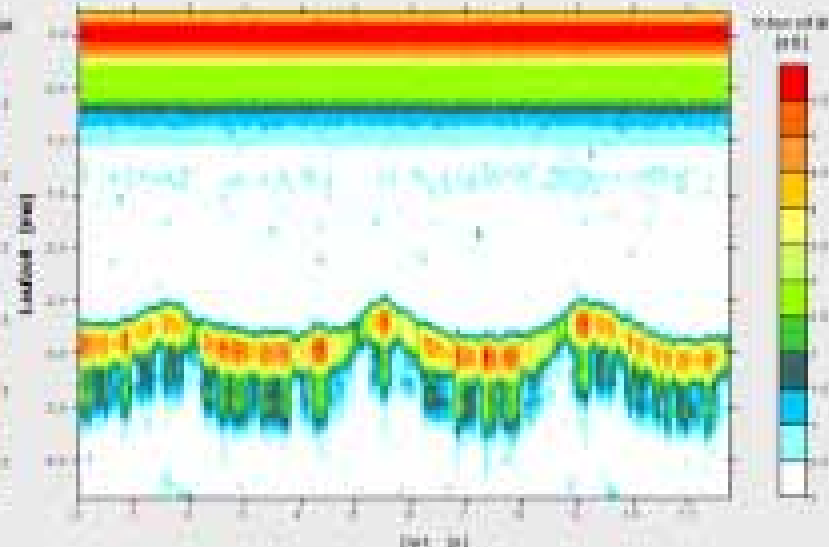
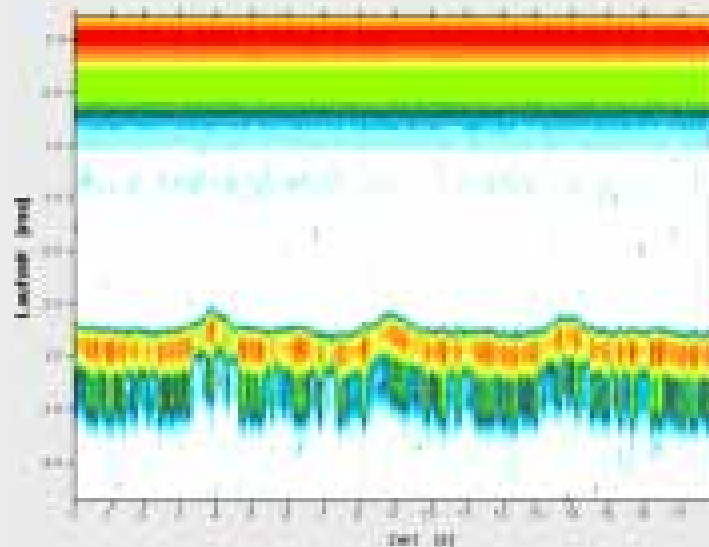
Glätte
Wasseroberfläche
Rauhe
Wasseroberfläche



H = 0,15 m T = 5 s d = 0,80 m



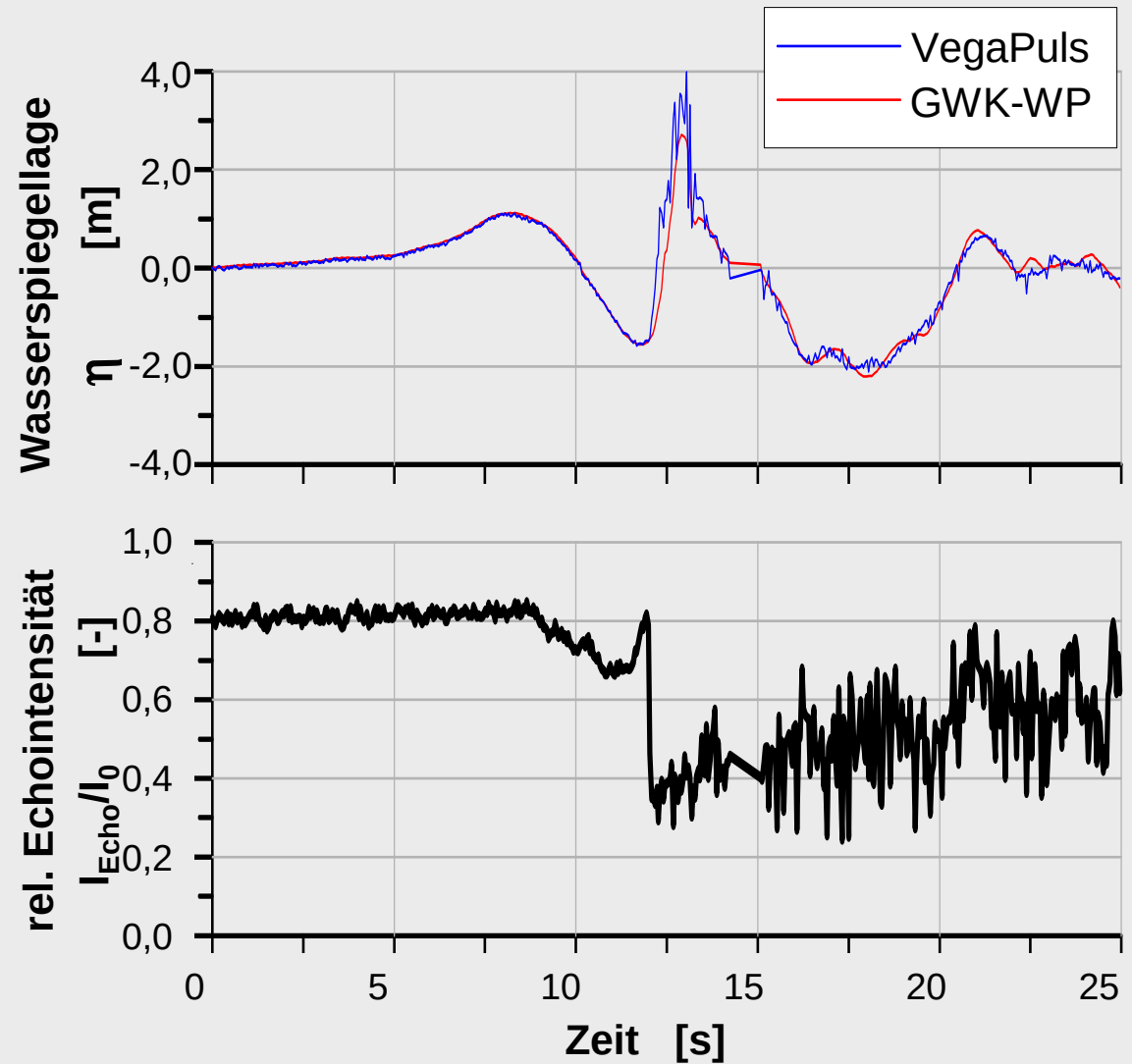
H = 0,30 m T = 4 s d = 0,80 m



Einfluß der Wasserspiegelrauhigkeit auf die Seegangsmessung

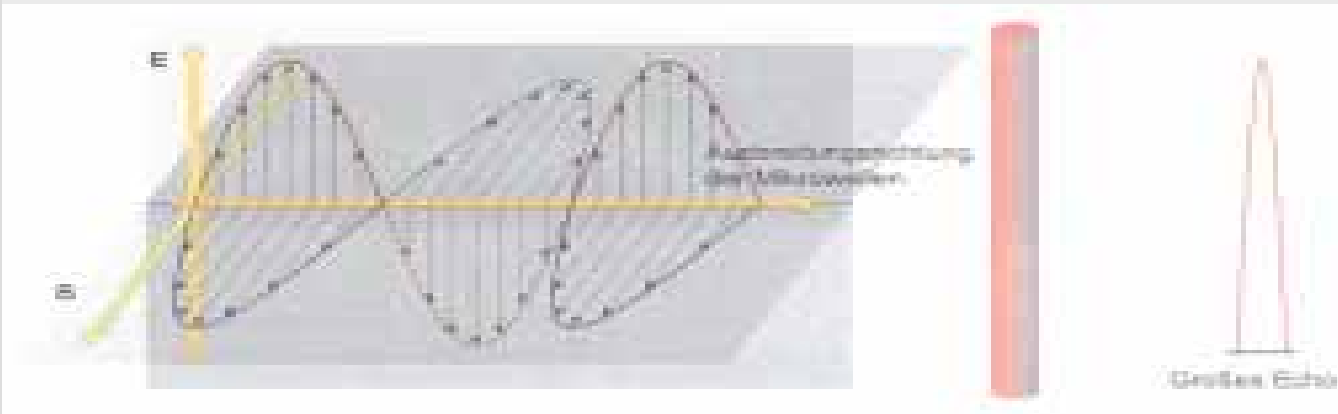
Stephan Mai

Seegangsmessung mit Radar



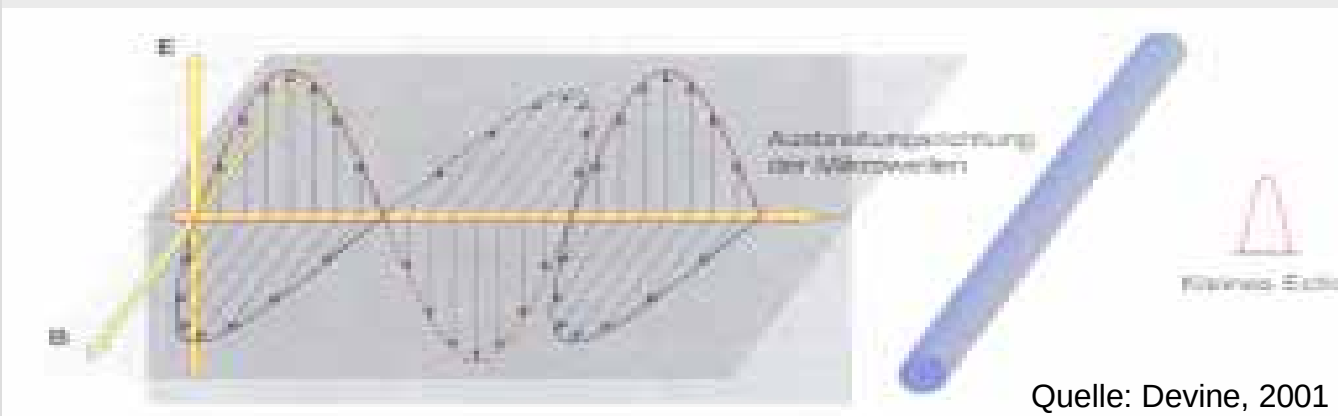
Radarmessung bei Wellenbrechen

Ausrichtung des Sensors



Hohe Echo- intensität:

Reflektierendes
Medium in Richtung
des elektrischen
Vektors



Geringe Echo- intensität:

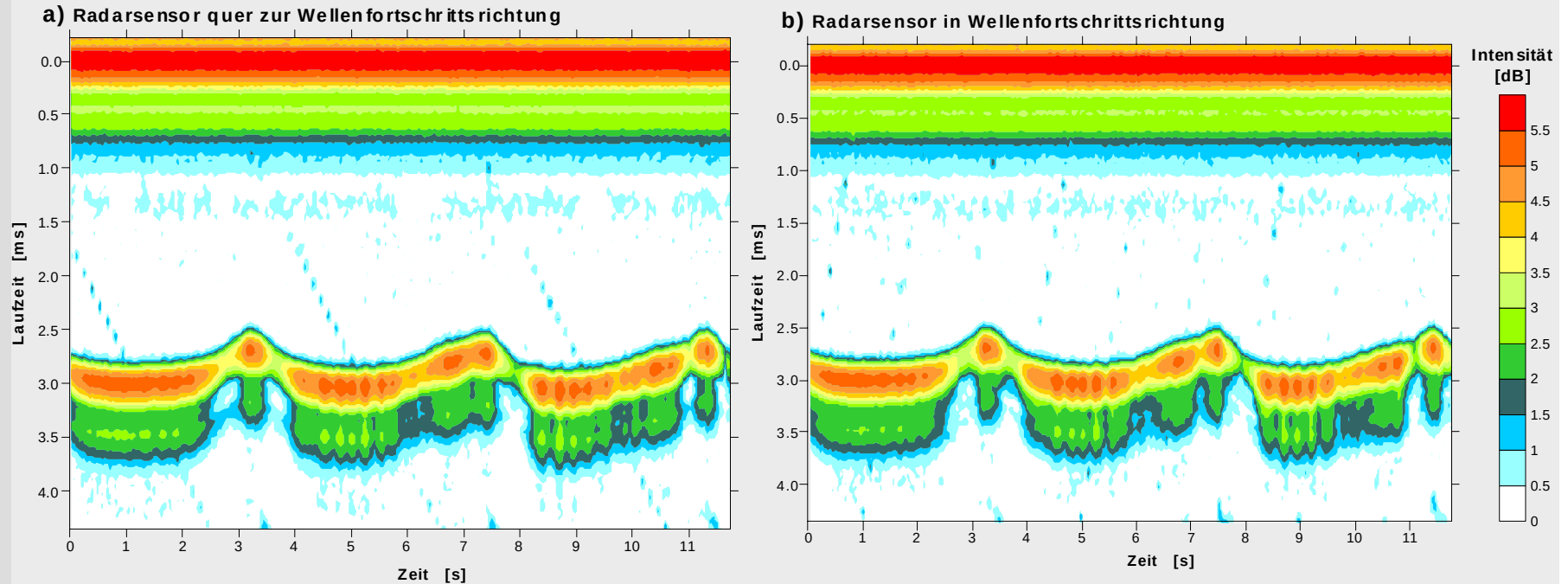
Reflektierendes
Medium lotrecht zum
des elektrischen
Vektors

Quelle: Devine, 2001

Einfluß der Polarisierung auf die Seegangsmessung

Stephan Mai

Seegangsmessung mit Radar



Antenne:
Durchmesser: 4"
Höhe: 2,5 m

regelmäßiger Seegang
Wellenhöhe: $H = 0,3 \text{ m}$
Wellenperiode: $T = 4,0 \text{ s}$
Wassertiefe: $d = 0,8 \text{ m}$
Steilheit ($\cdot 2\pi$): $H / (gT^2) = 2 \cdot 10^{-4}$

Einfluß der Polarisierung auf die Seegangsmessung

Stephan Mai

Untersuchungen in WKS und GWK

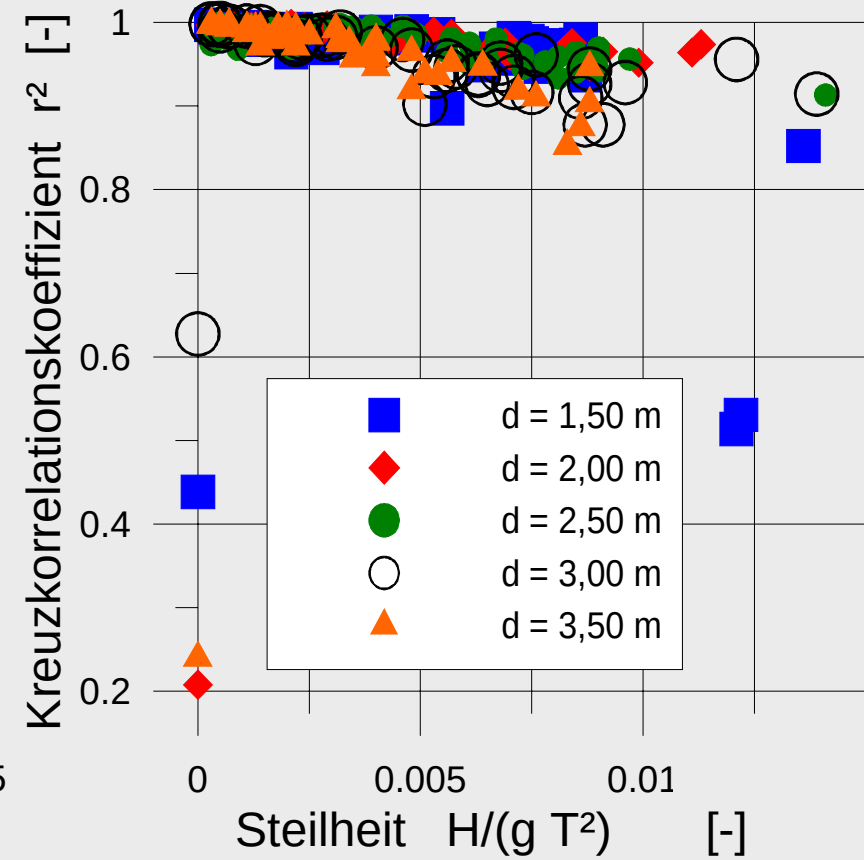
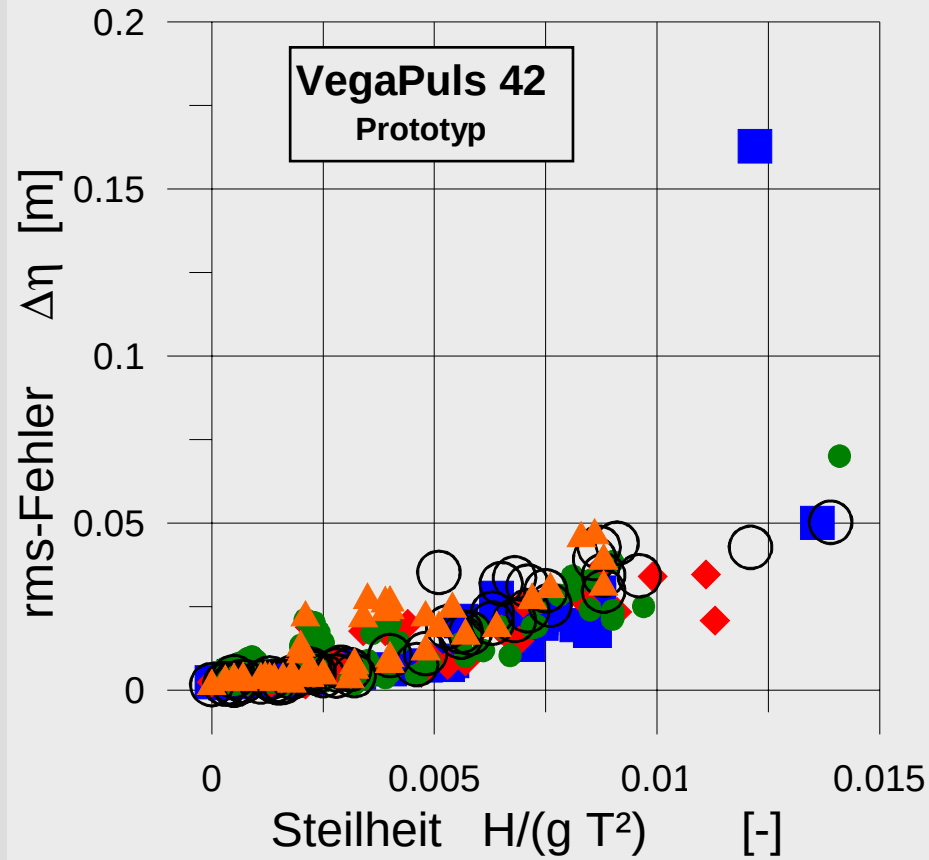
WKS: Variation der Einbauhöhe des
 Meßgeräteträgers

GWK: Variation des Kanalwasserstands



Einfluß der Installationshöhe des Radars

Seegangsmessung mit Radar



Einfluß der Installationshöhe des Radars

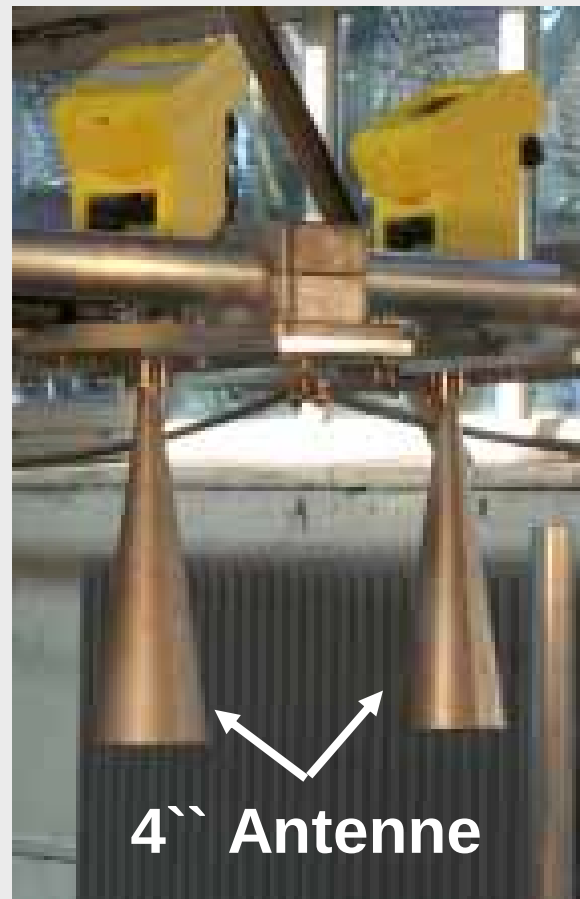
Stephan Mai

Antennentypen im Einsatz

Seegangsmessung mit Radar



1,5'' Antenne



4'' Antenne

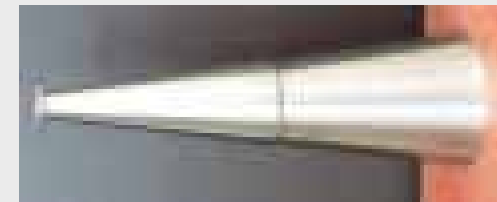
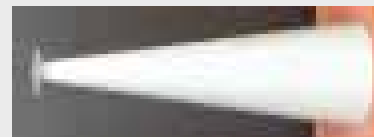
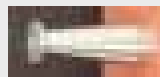
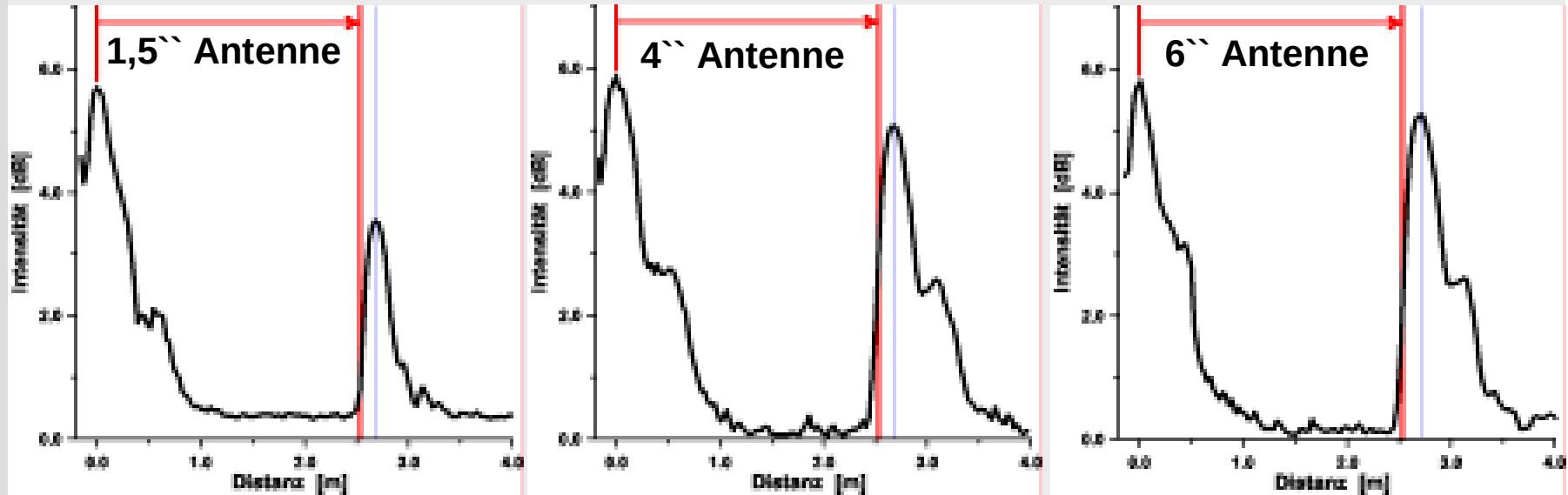


6'' Antenne

Optimierung der Antennengeometrie

Stephan Mai

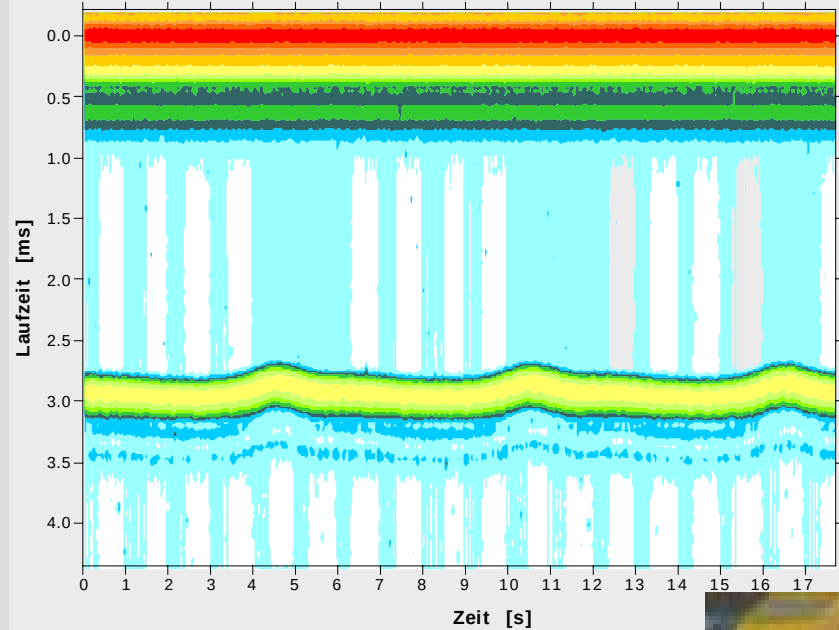
Rückstreusignal bei verschiedenen Antennendurchmessern (glatte Wasseroberfläche, kein Seegang)



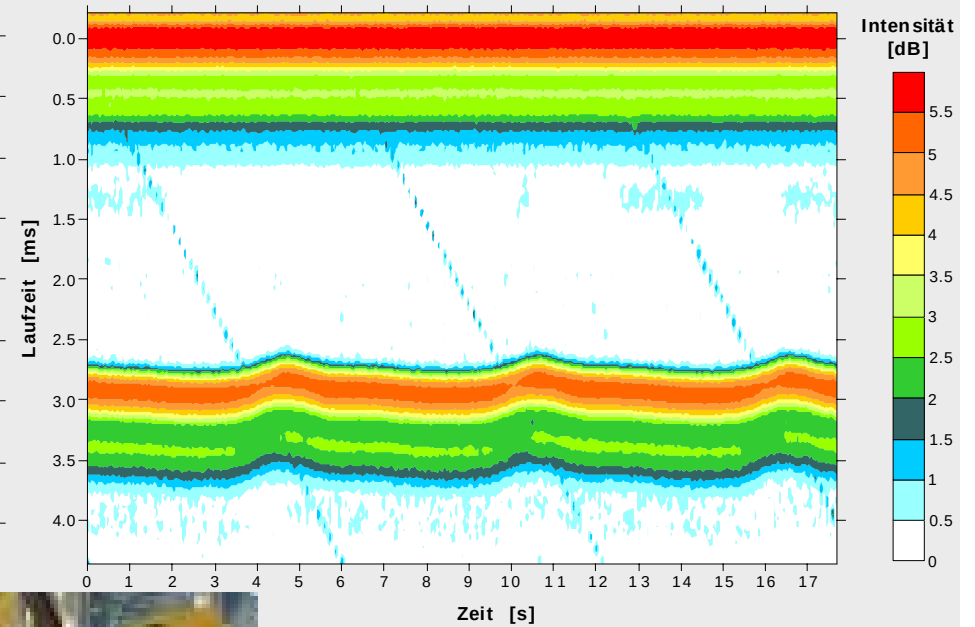
Optimierung der Antennengeometrie

Stephan Mai

1,5"-Antenne



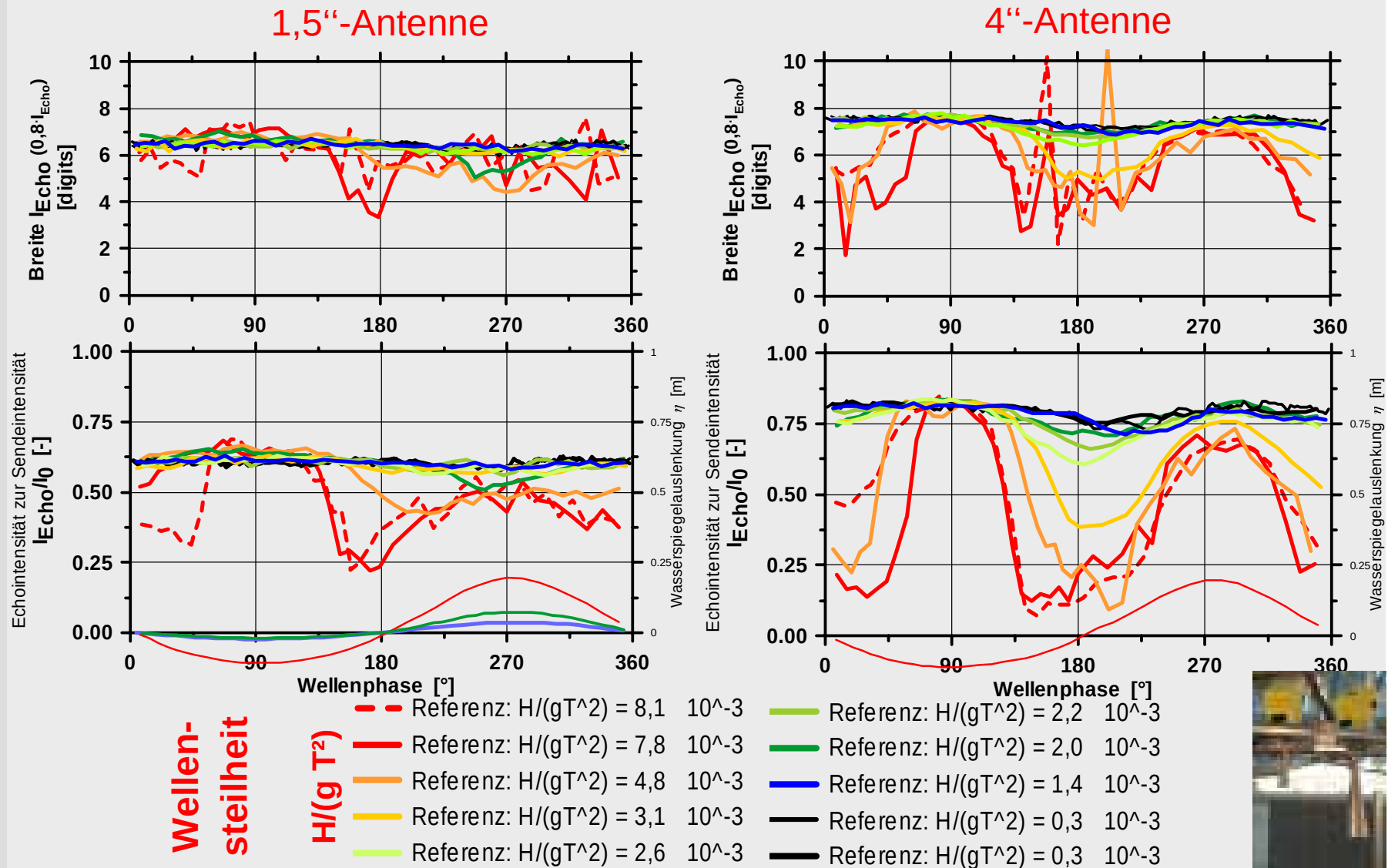
4"-Antenne



Optimierung der Antennengeometrie

Stephan Mai

Seegangsmessung mit Radar

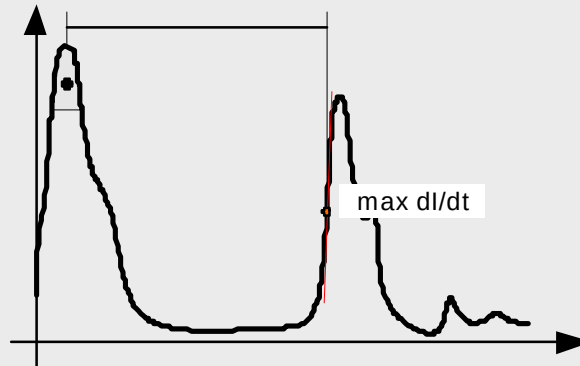


Optimierung der Antennengeometrie

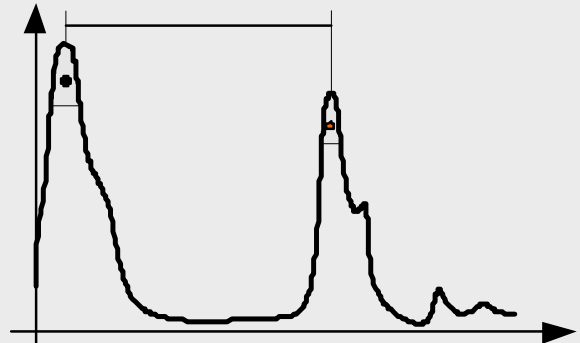
Stephan Mai

Algorithmen zur Ermittlung der maßgebenden Laufzeit

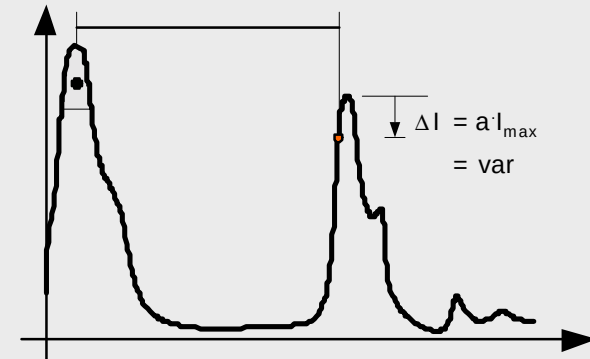
Maximale Steigung des Rückstreupulses



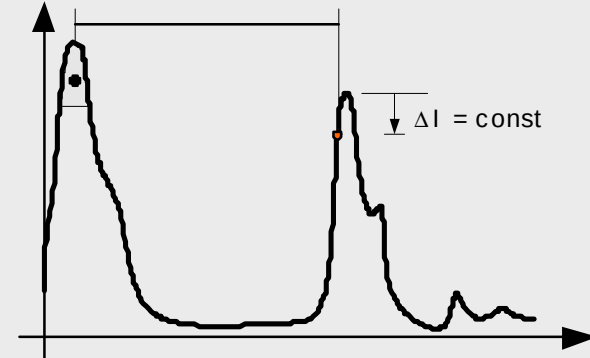
Schwerpunkt des Rückstreupulses



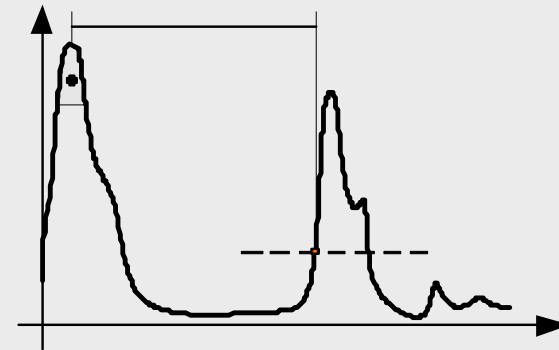
80 % des Rückstreumaximum



3 dB unter Rückstreumaximum

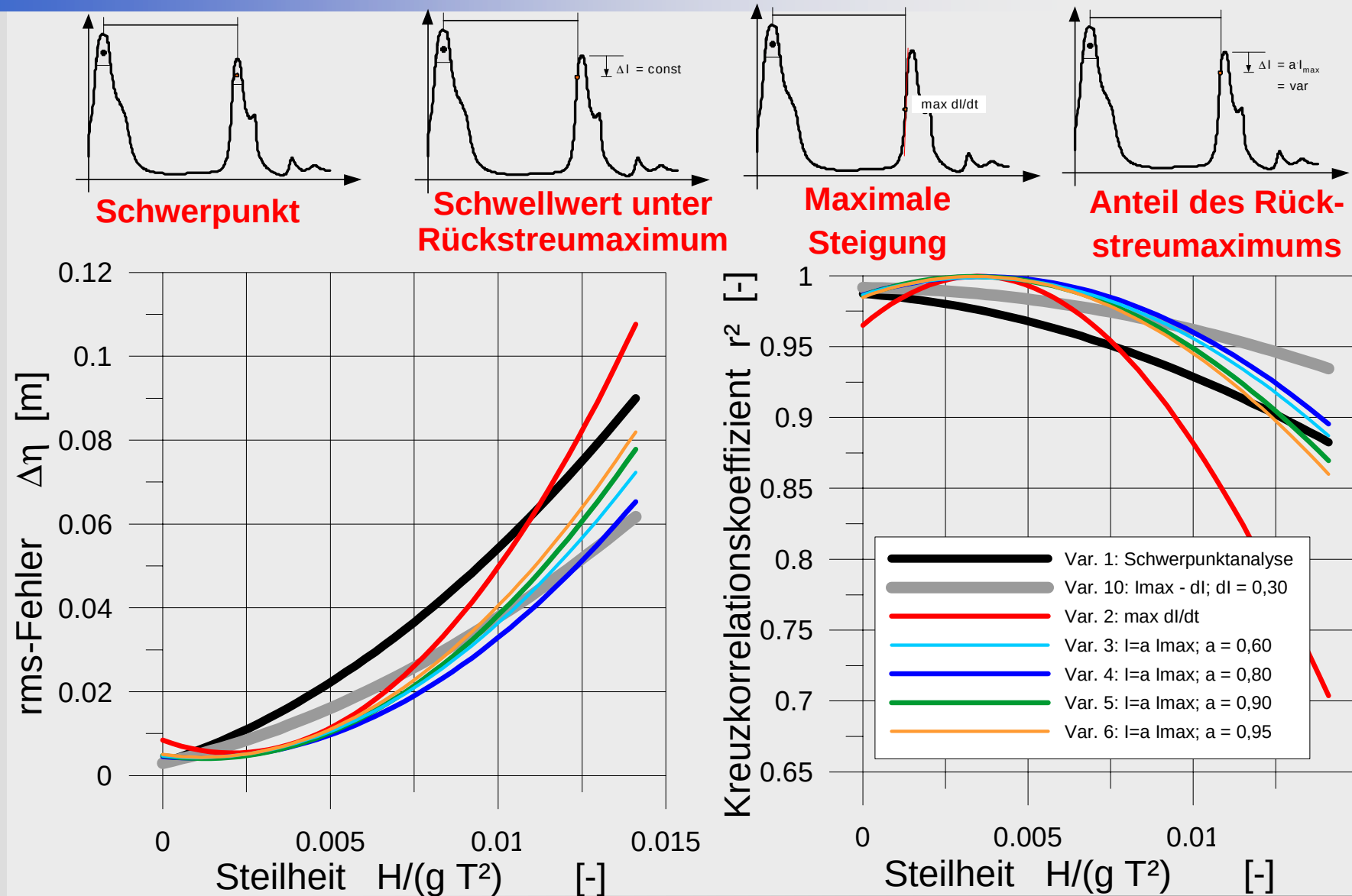


Schwellwert für Rückstreusignal



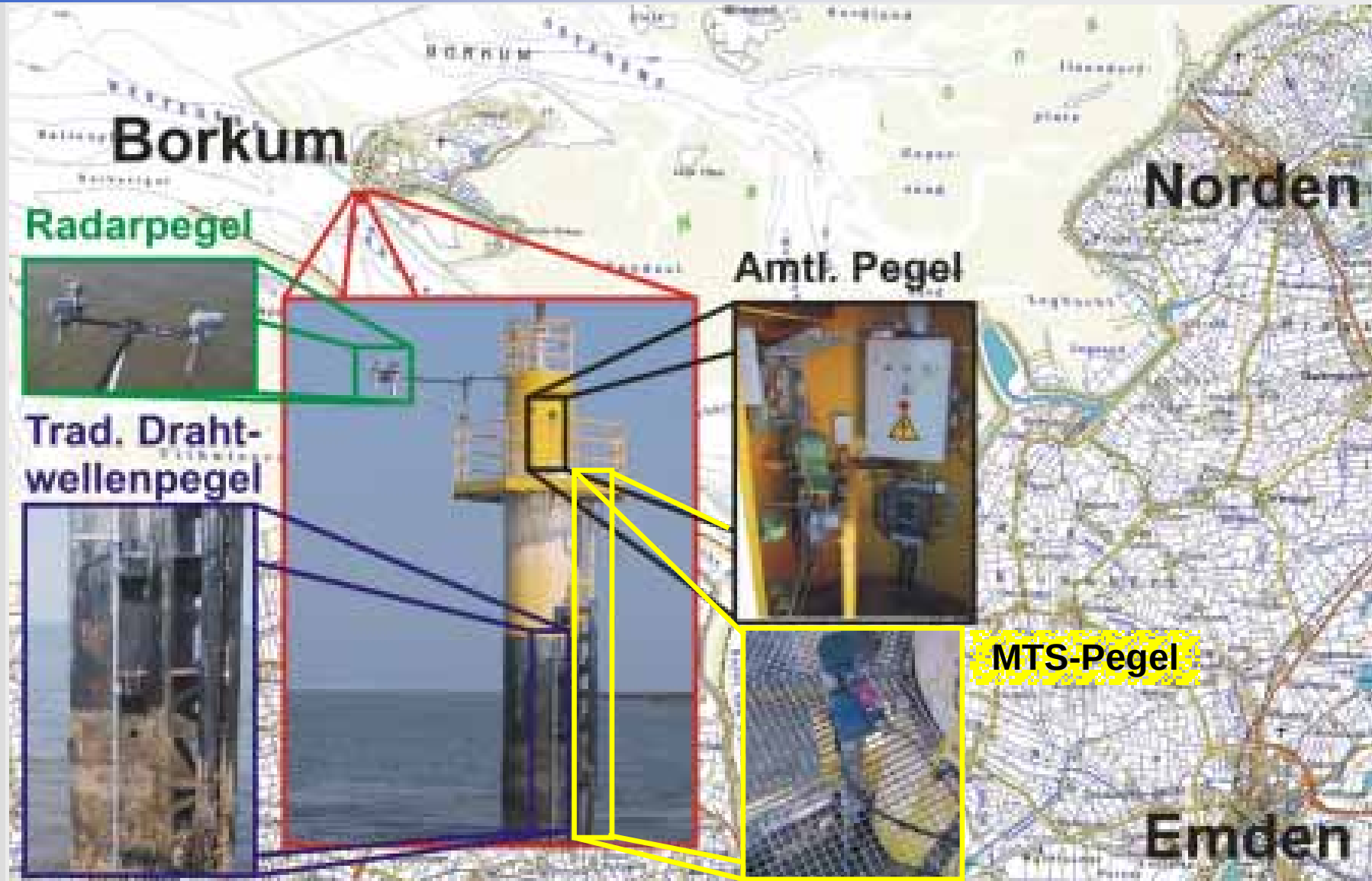
Optimierung des Auswertungsalgorithmus

Stephan Mai



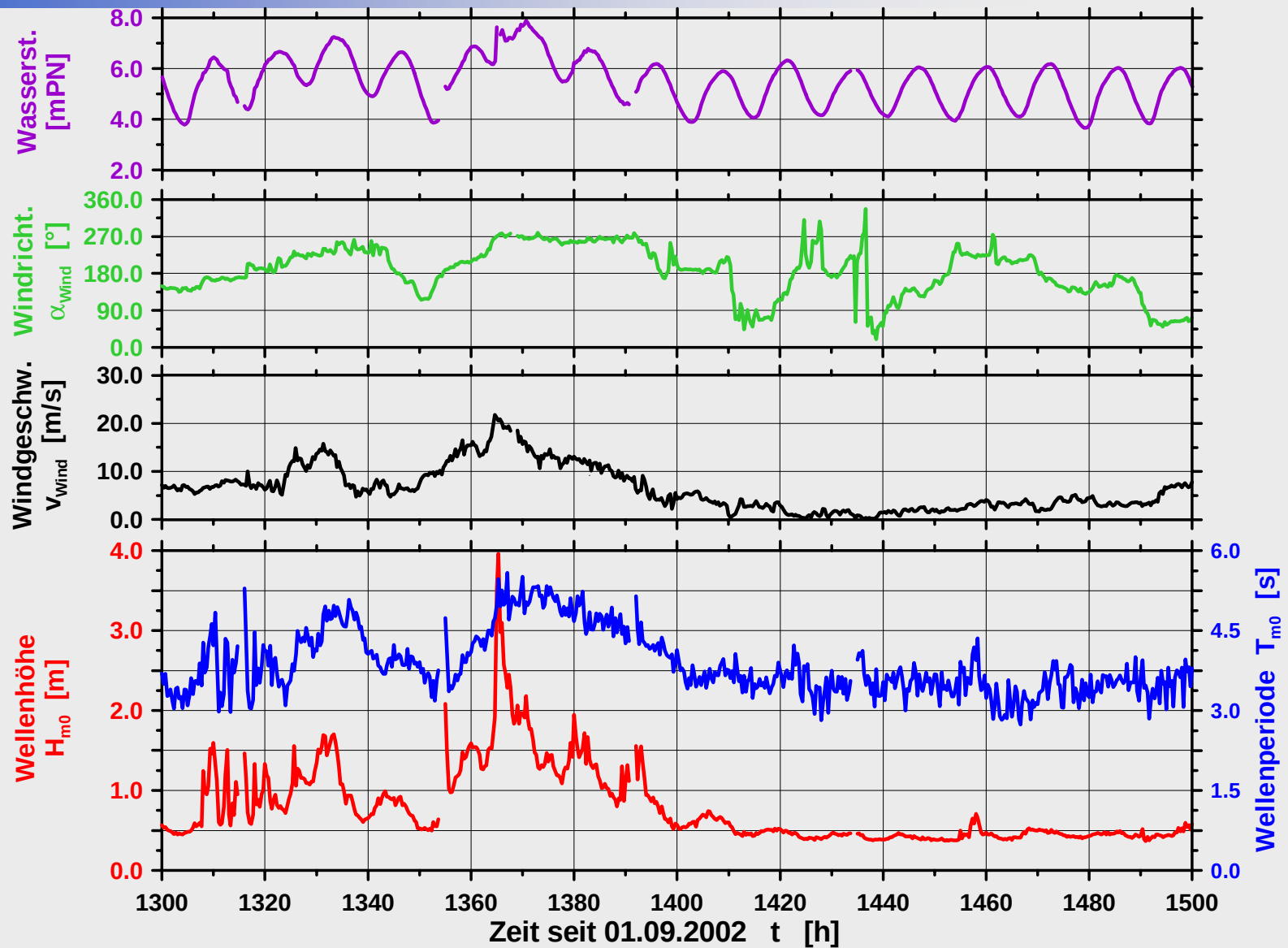
Optimierung des Auswertungsalgorithmus

Stephan Mai



Versuchsaufbau am Pegel Borkum-Südstrand

Seegangsmessung mit Radar



Langzeit-Seegangsmessungen

Stephan Mai

Vielen Dank

für Ihre Aufmerksamkeit!

Weitere Informationen im Internet unter:

www.bafg.de/html/aufgaben/fachbe/m4/projekte/Radar/smrstart.html

Veröffentlichungen zum Thema:

www.uni-bremen.de/~smail/radar

**Vielen Dank
an das WSA Emden**

für die Unterstützung der Seegangsmessungen bei Borkum

und an das FZK Hannover

für die Unterstützung bei der Durchführung der Versuche im GWK