

## Auswirkungen einer schräg gleich- oder entgegengesetzt zur Wellenrichtung laufenden Strömung auf die Wellenausbreitung und Wellenhöhe in einem neuen 3D-Wellen-Strömungsbecken



**Dipl.-Ing. Mike Lieske**

Prof. Dr.-Ing. Torsten Schlurmann

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

FKZ: 03KIS107



Kuratorium für  
Forschung im Küsteningenieurwesen

**KFKI**

## Gliederung

1. Erweiterungsmaßnahmen des 3D-Wellenbeckens
2. Motivation, Ziele und Methodik
3. Strömungsanalyse ohne Wellen
4. Wellenanalyse ohne Strömung
5. Vergleichsanalyse zwischen nur Strömung, nur Wellen und Wellen-Strömungs-Interaktion
6. Ausblick

# ERWEITERUNGSMABNAHMEN DES 3D-WELLENBECKENS

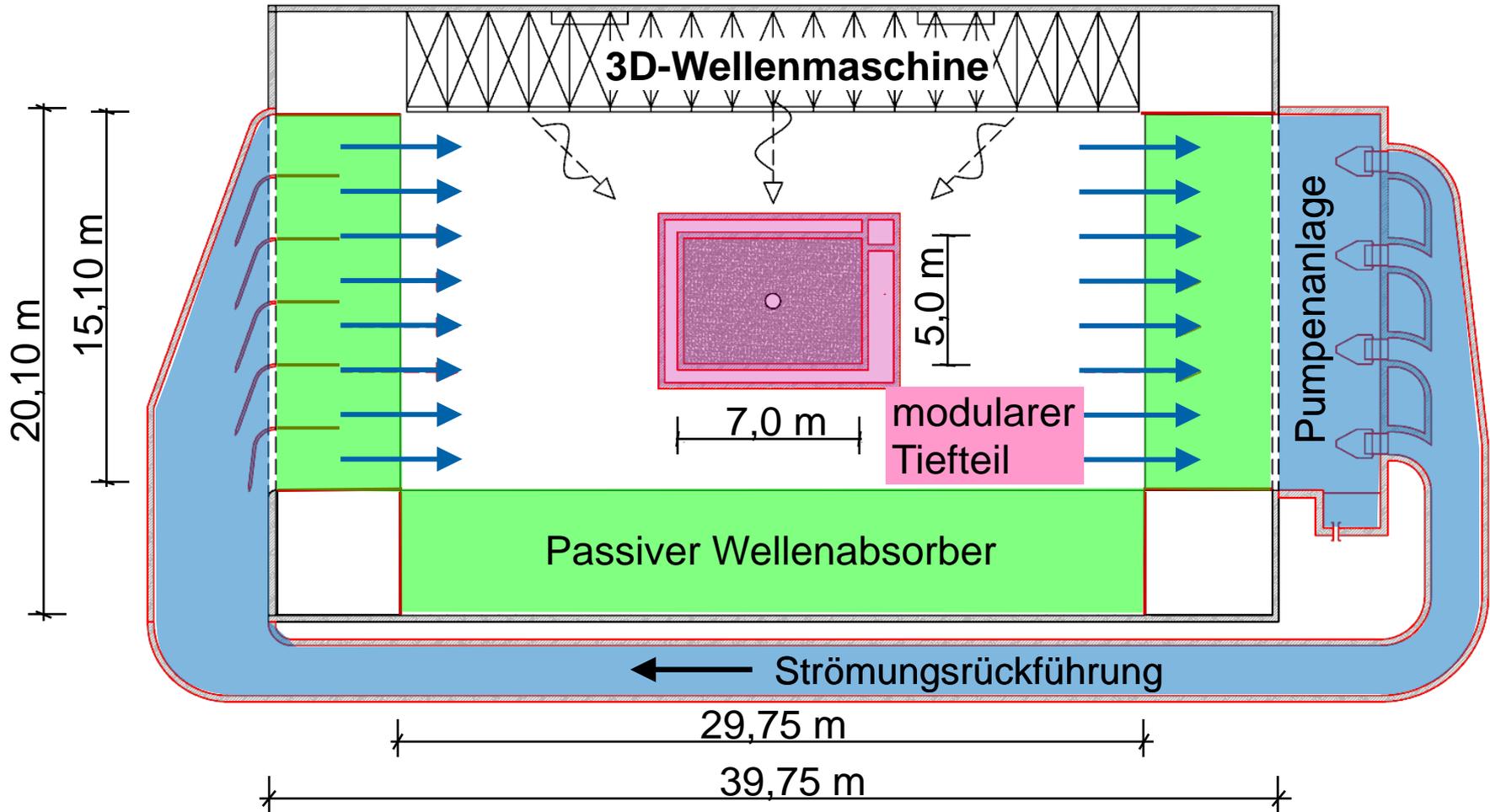
## 3D-Wellenbecken 2011



## Erweiterungsmaßnahmen 3D-Wellen-Strömungsbecken Stand Januar 2015



## Erweiterungsmaßnahmen des 3D-Wellenbeckens Details



## Erweiterungsmaßnahmen des 3D-Wellenbeckens Details



## Erweiterungsmaßnahmen des 3D-Wellenbeckens Beteiligte Personen

Antragstellung  
und Planung  
(bis 04/2013)



Schlurmann



Stahlmann



Kerpen

Vorversuche,  
Dimensionierung  
(07/2013 – 11/2013)



Stahlmann



Wilms



Kerpen



Hildebrandt



Klein

Baubegleitung,  
Umsetzung  
(07/2013 – 01/2015)



Stahlmann



Lieske



Kerpen



Streich



Mathyl



Klein



Vortmann

Versuchsdurchführung,  
Auswertung  
(02/2015 – heute)



Lieske



Mathyl



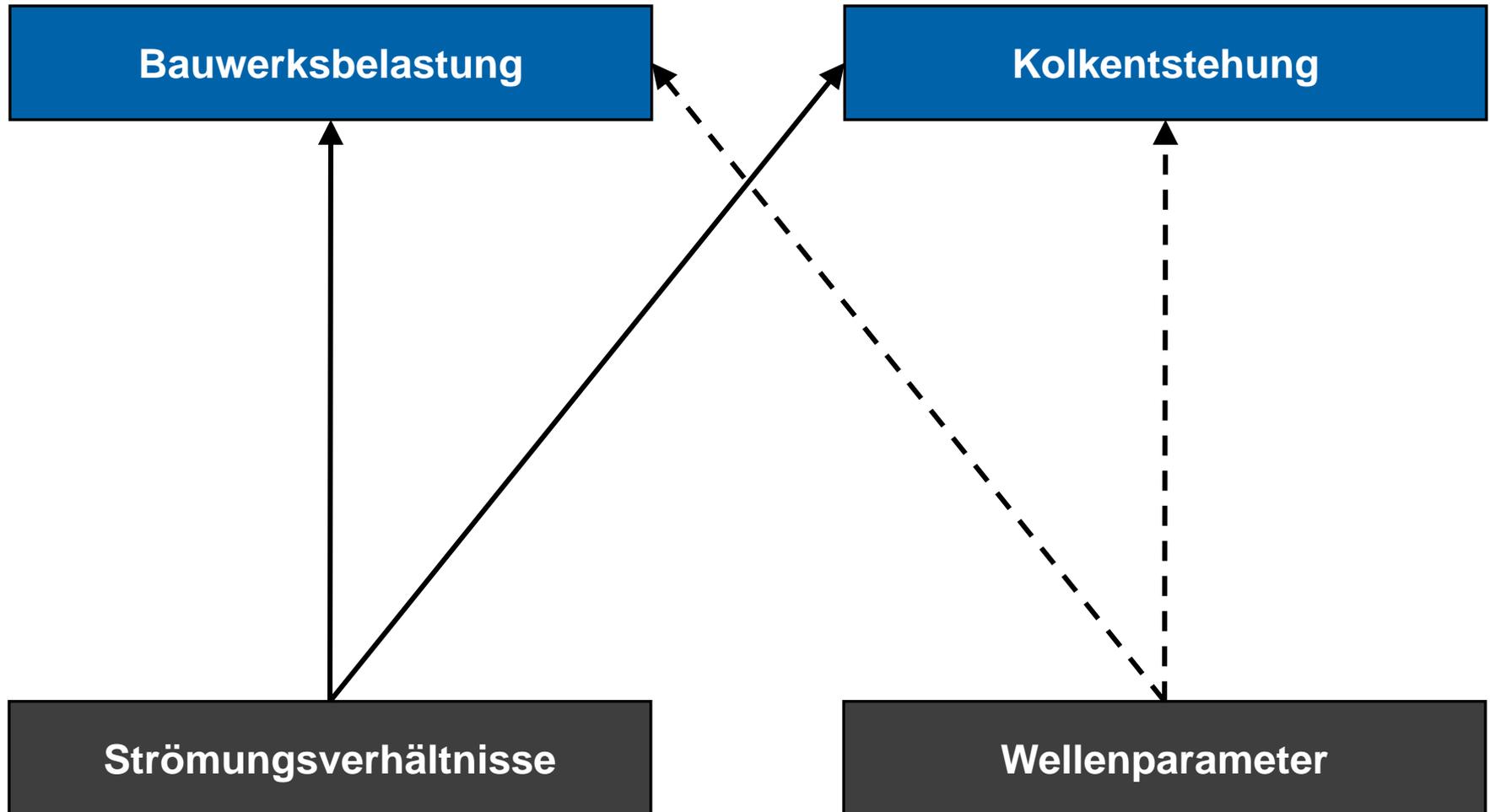
Klein



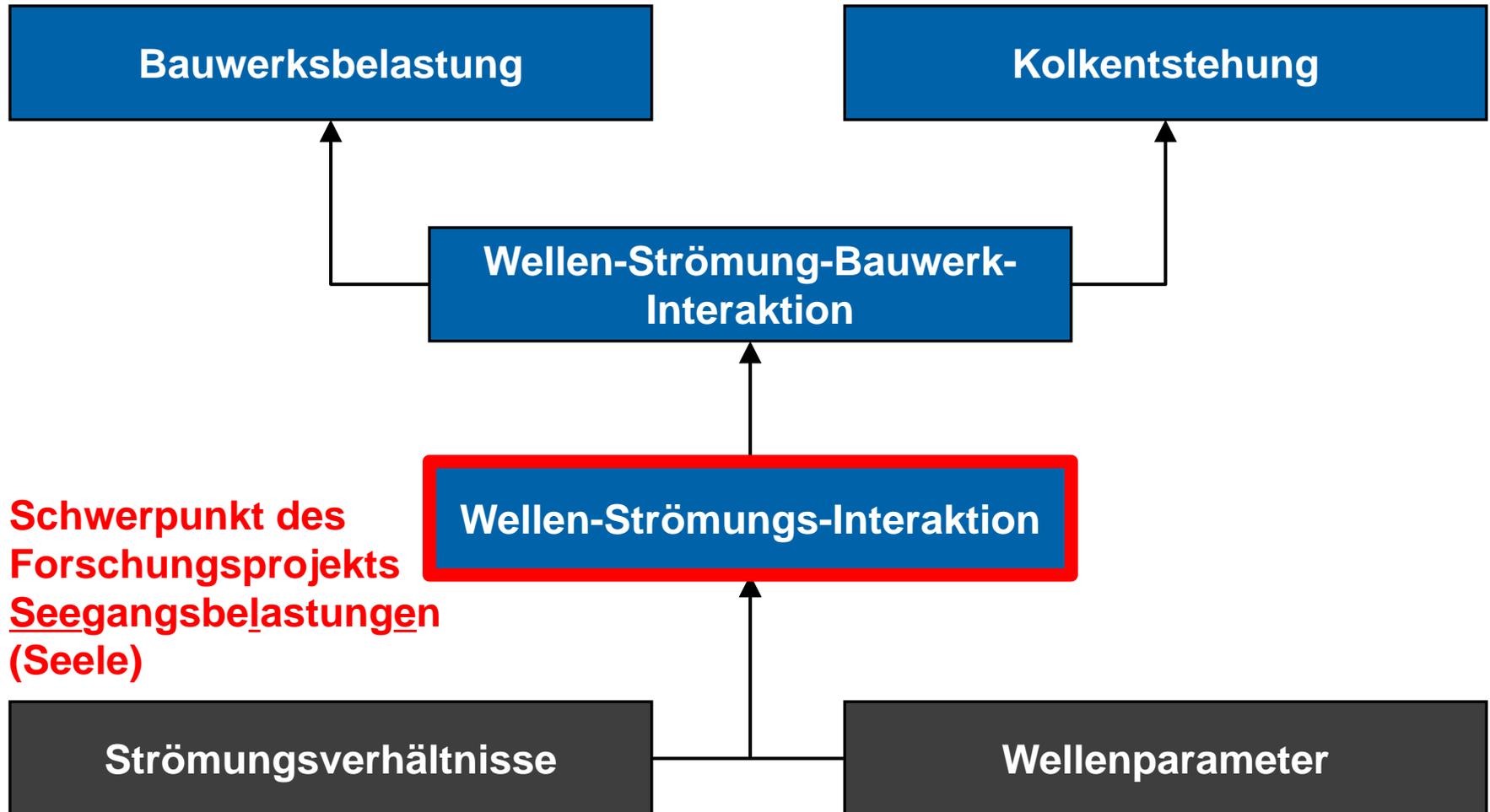
Vortmann

# MOTIVATION

## Bisherige Untersuchungsgrundlagen in physikalischen Modellversuchen



## Untersuchungsgrundlage mit der Wellen-Strömungs-Interaktion (WCI)



## Forschungsziel

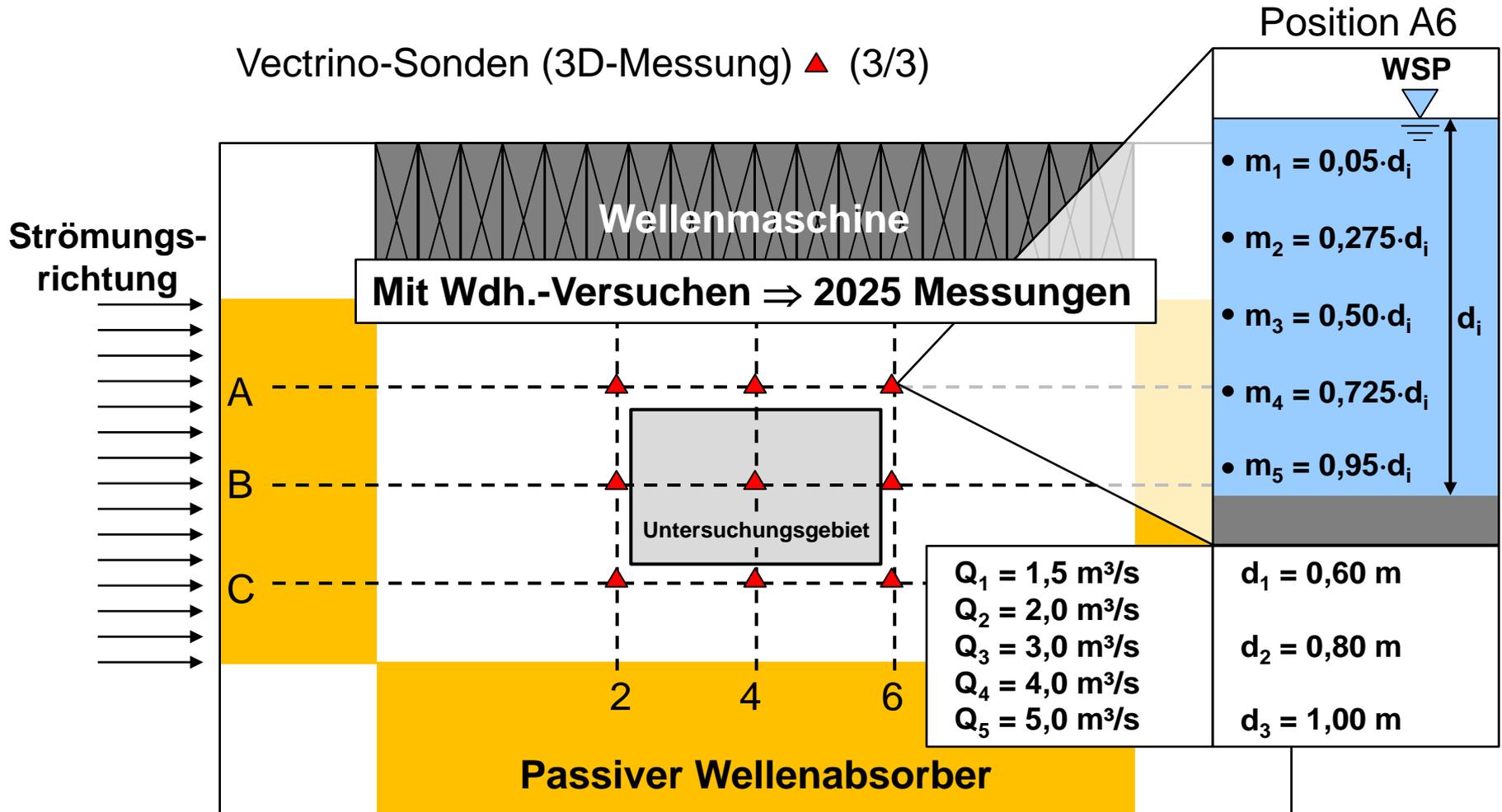
- Was sind die maßgebenden physikalischen Prozesse bei der WCI?
- Wie wirken sich die identifizierten Prozesse auf die Belastungsgrößen aus?
- Veröffentlichungsergebnisse zur Wellen-Strömungs-Interaktion (WCI) überwiegend aus 2D Modellen mit den Fällen:
  - Strömung in Wellenrichtung
  - Strömung entgegengesetzt der Wellenrichtung
- Realitätsgetreuere hydraulische Modellversuche durch 3D Untersuchungen

## Methodik zur Identifizierung der physikalischen Prozesse der WCI

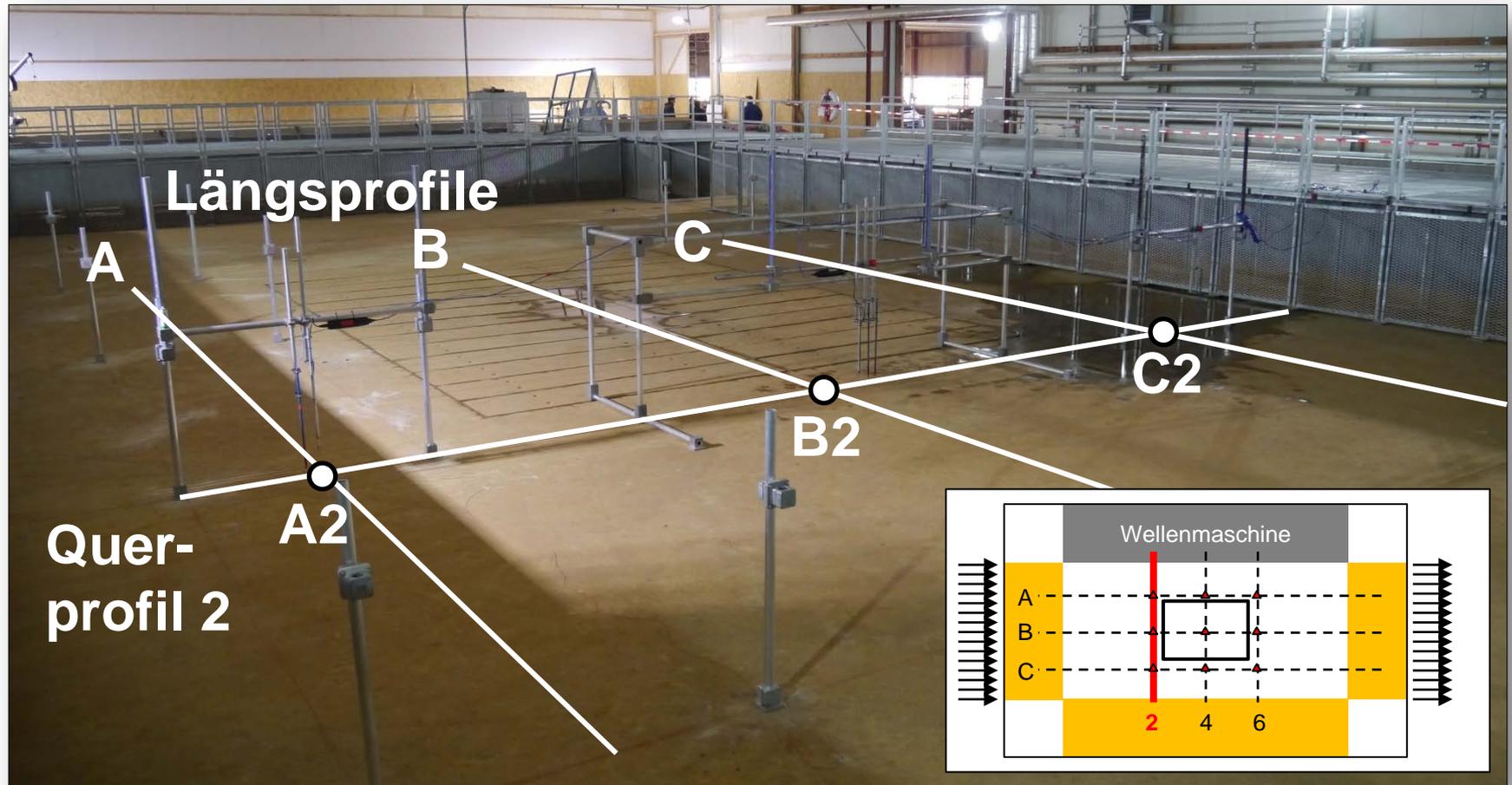
- 1. Strömungsanalyse *ohne Wellen***
- 2. Wellenanalyse *ohne Strömung***
- 3. Vergleichsanalyse zwischen *nur Strömung, nur Wellen* und *WCI***

# STRÖMUNGSANALYSE OHNE WELLEN

## Strömungsprofile im 3D-Wellenbecken

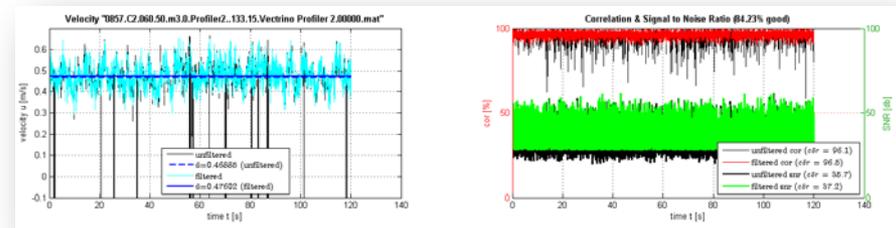


## Versuchsaufbau für Querprofil 2

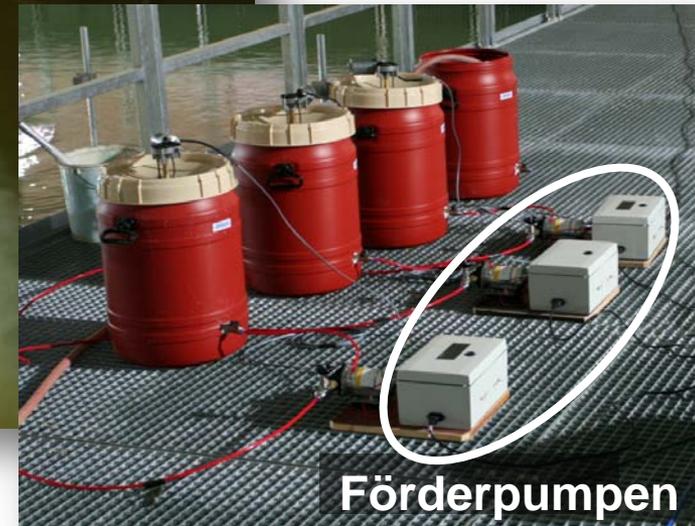
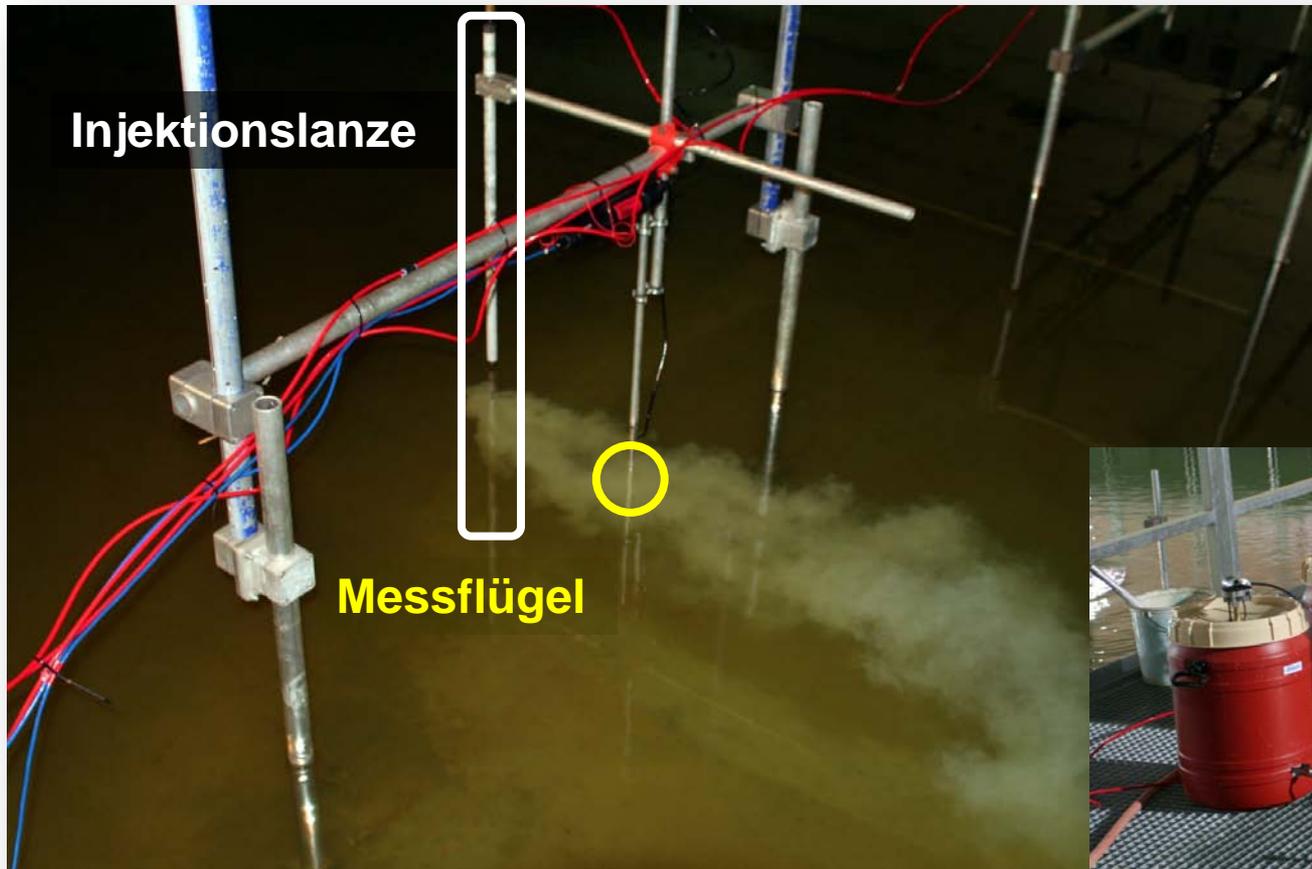


## Messeinstellungen und Qualitätskriterien für die Vectrino Plus und Vectrino Profiler Sonden

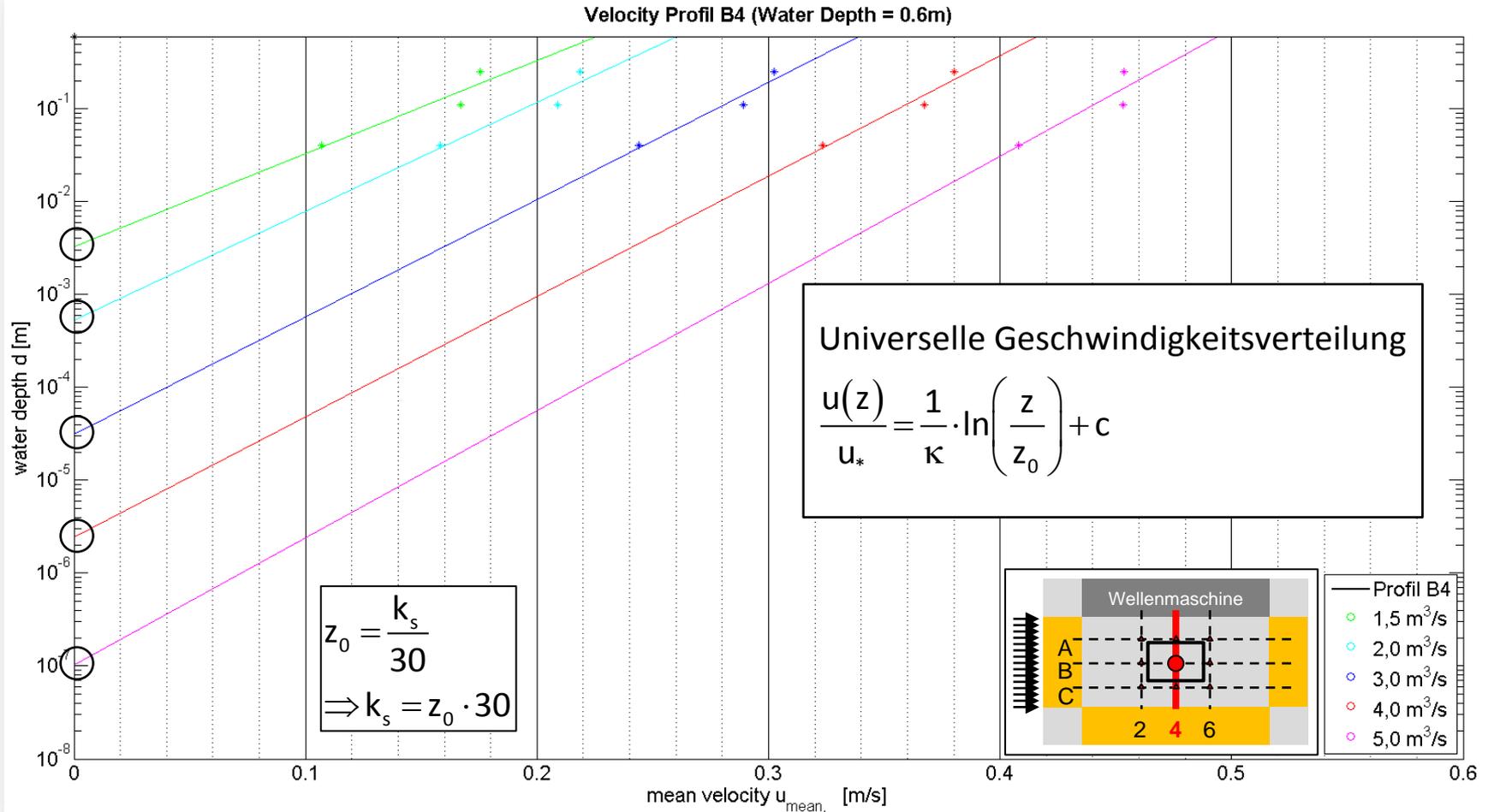
- Messzeiten
  - Ermittelt über eine Konvergenzanalyse
  - Wartezeiten zwischen den Messungen  $t = 15$  min.
- Abtastrate (sampling rate)
  - $f_s = 100$  Hz
- **Korrelationswerte**
- **Signal to noise ratio (SNR)**
- **Despiking filter (Ausreißerfilter)**
  - Nach Goring & Nikora (2002) sowie Nobuhito Mori (2007)



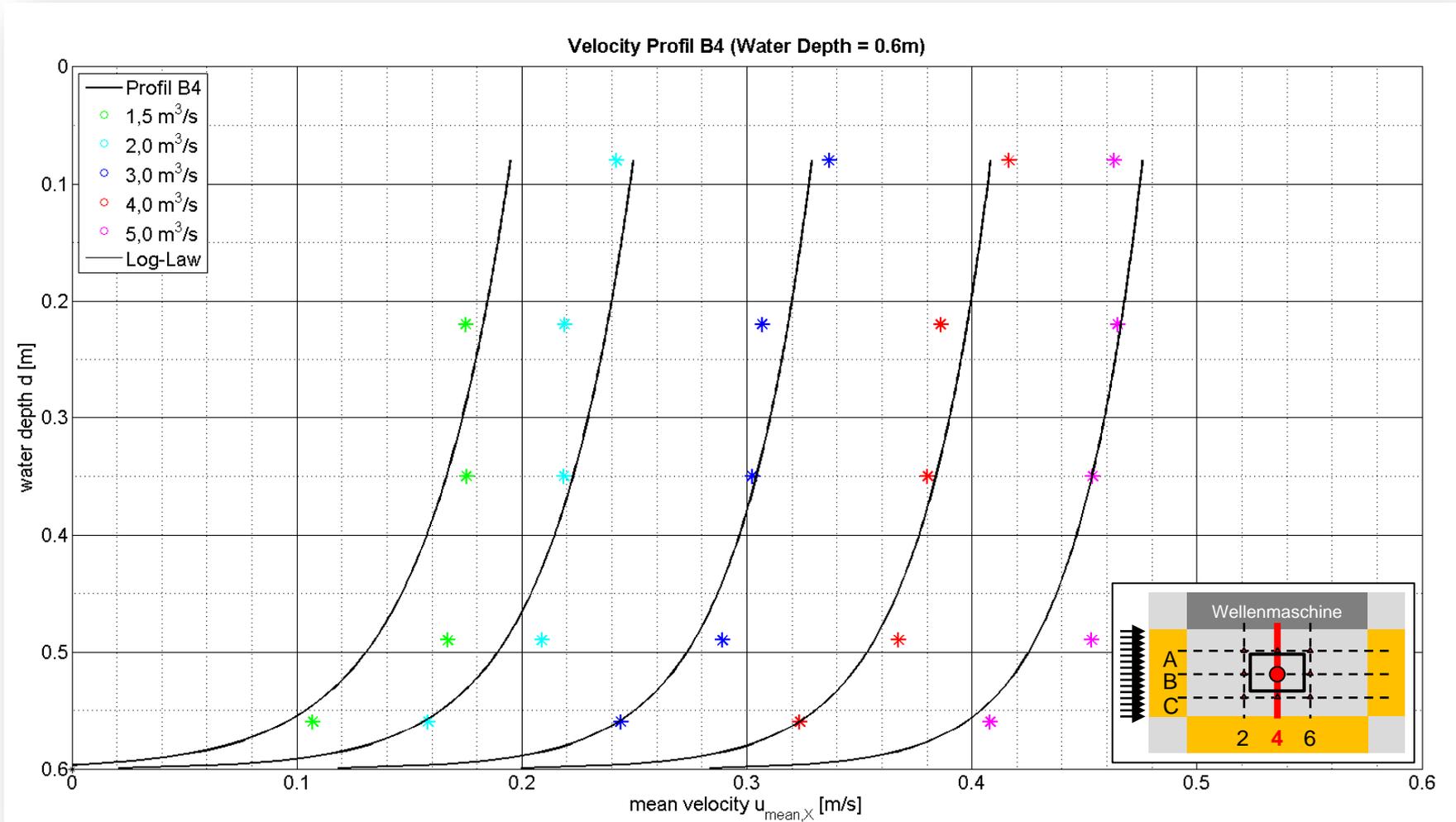
## Zugabe von Seedingmaterial im Wellenbecken



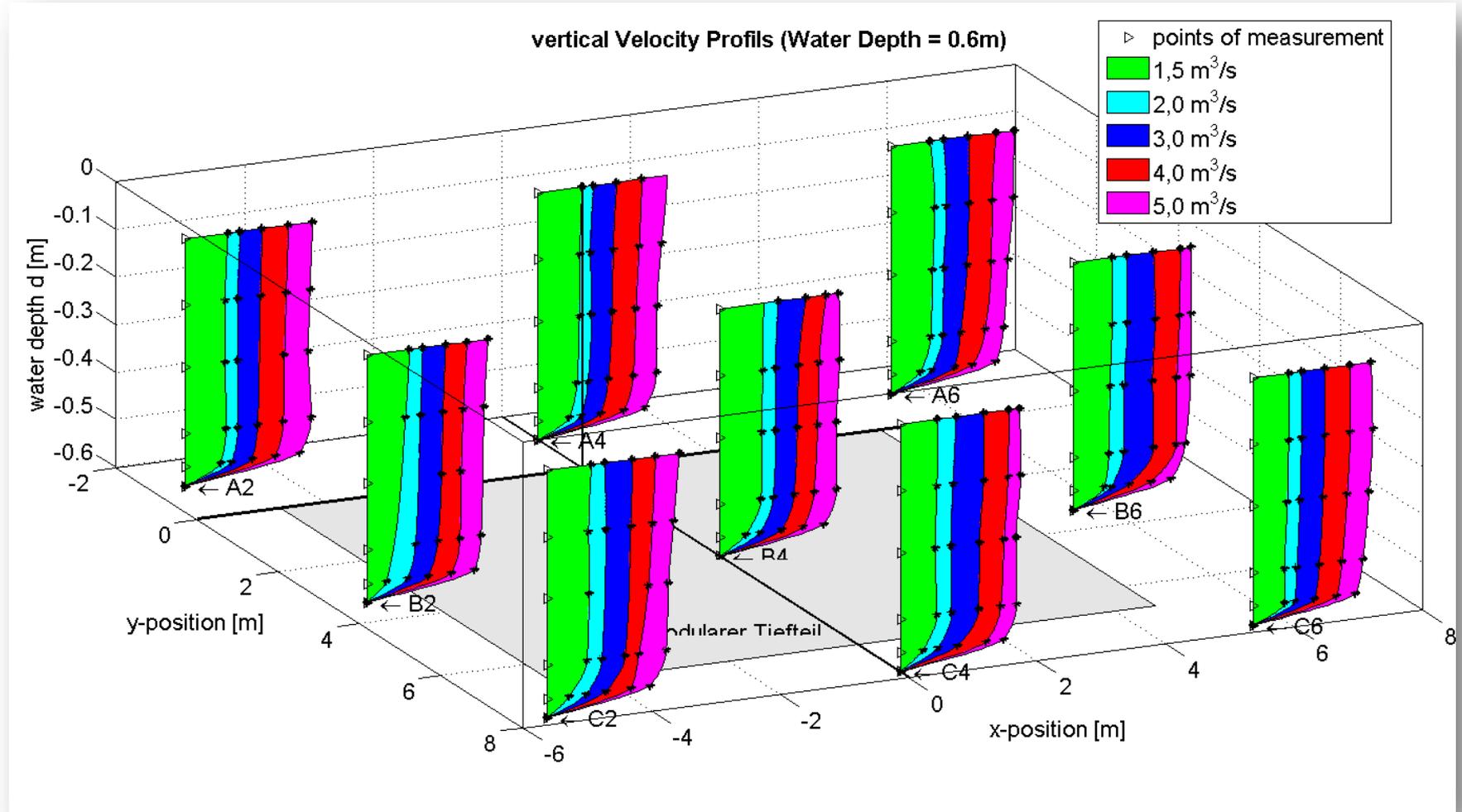
## $k_s$ -Wertbestimmung für B4 nach Fredsø (1999)



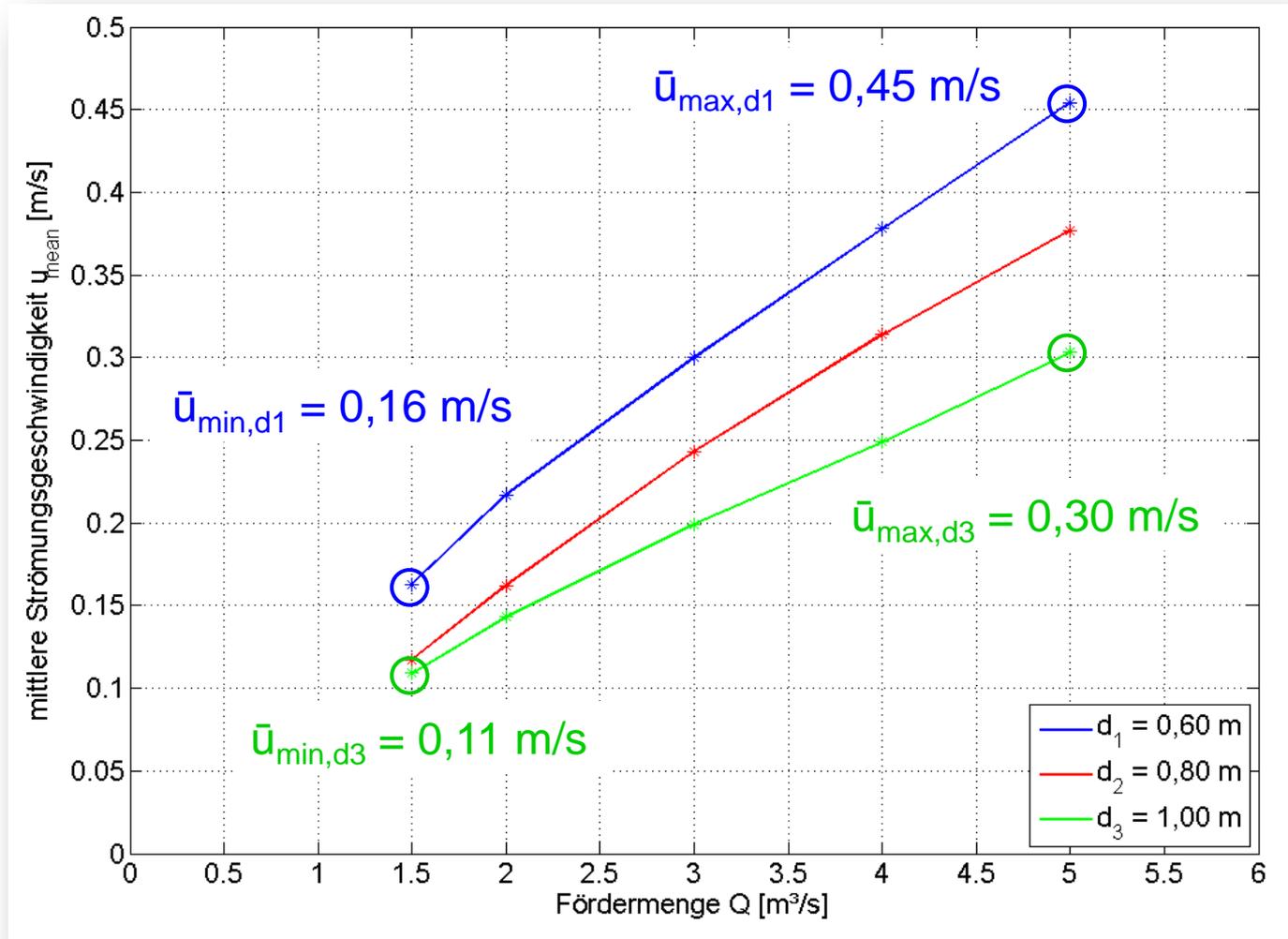
## Vertikale Strömungsverteilungen B4 (d = 0,60 m)



## Vertikale Strömungsverteilungen im Untersuchungsgebiet (d = 0,60m)



## Mittlere Strömungsgeschwindigkeit in Beckenmitte in Abhängigkeit von Wassertiefe d und Fördermenge der Pumpenanlage Q



# WELLENANALYSE OHNE STRÖMUNG

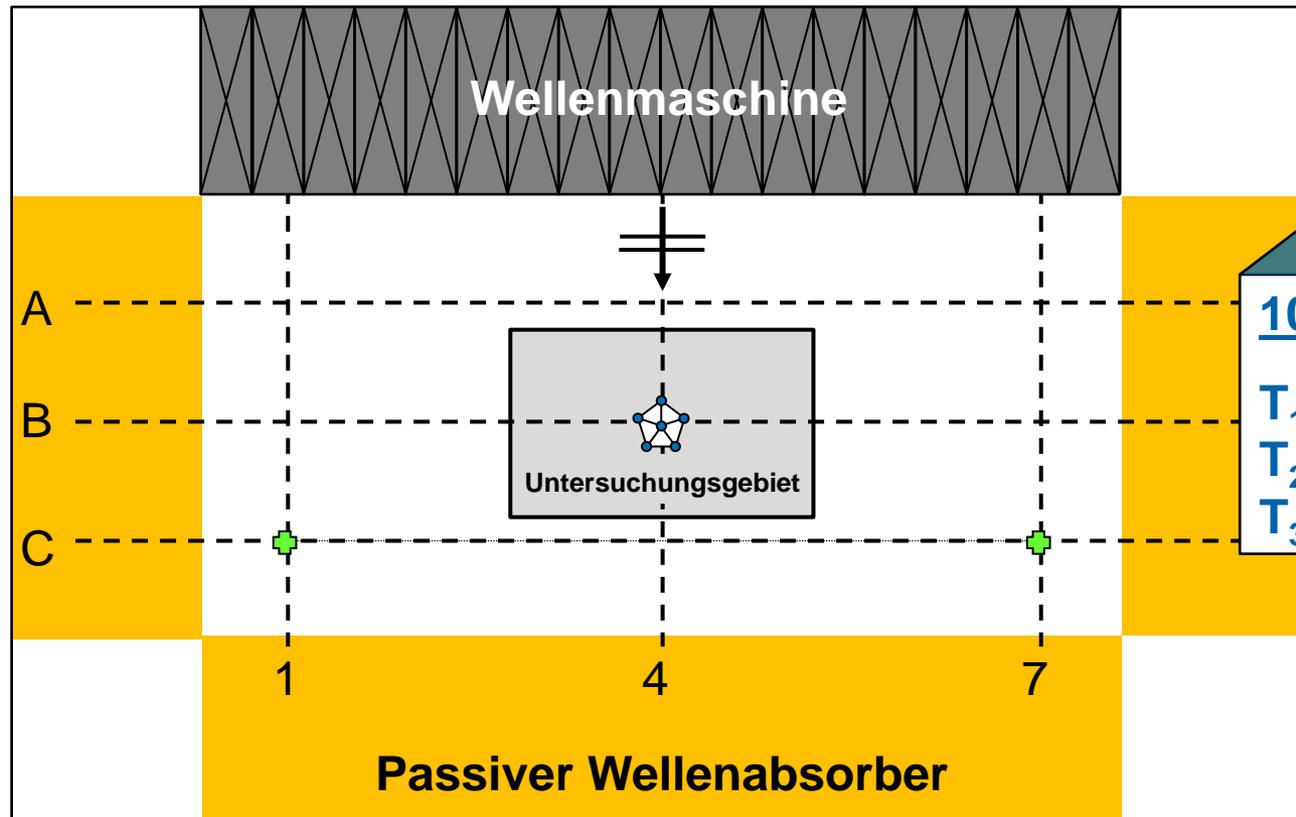
## Versuchsaufbau für die Wellenuntersuchungen

Wellenpegel • (6/24)

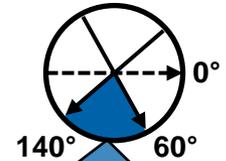
Vectrino-Sonde ▲ (0/3)

CERC6  (1/3)

DMD  (2/8)



Wellenrichtung



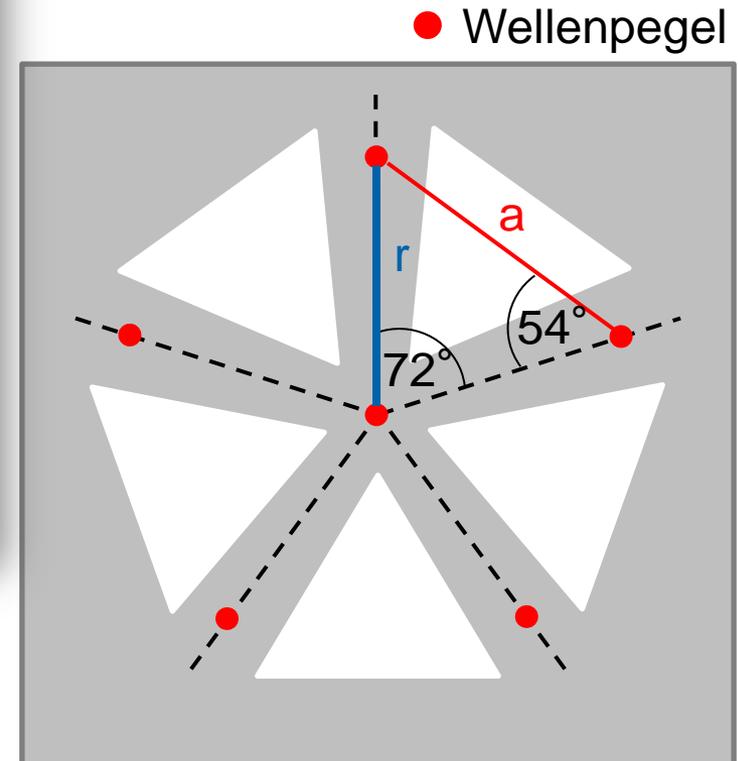
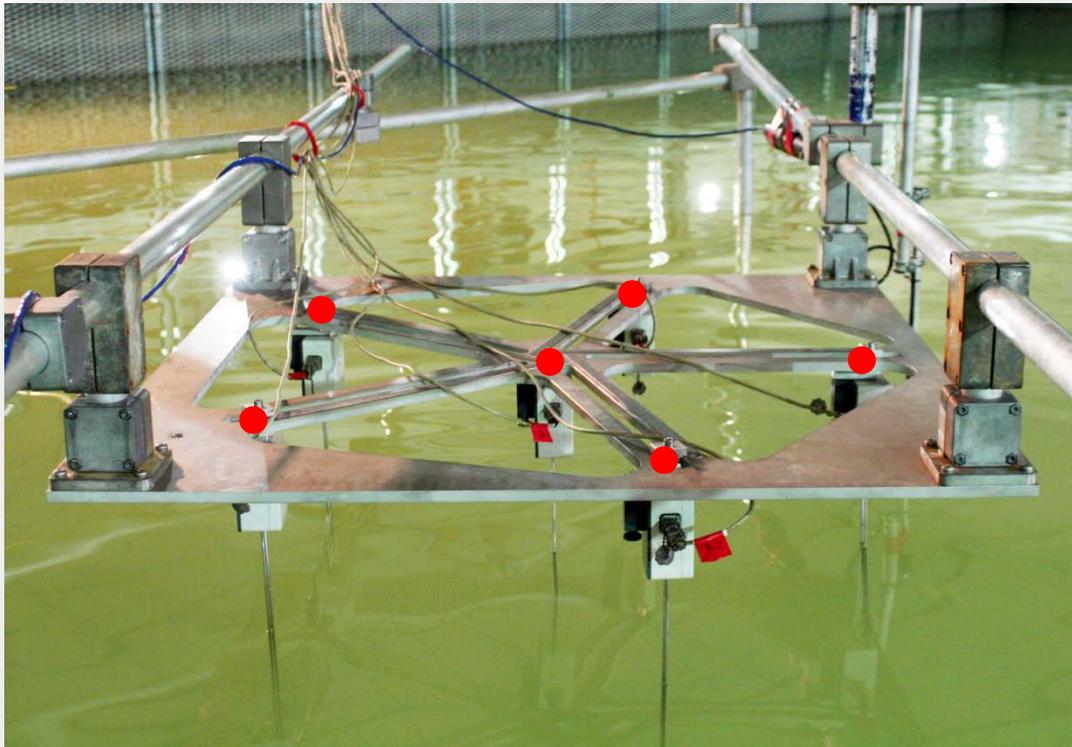
**10° Schritte**

$T_1 = 1,2 \text{ s}$

$T_2 = 1,6 \text{ s}$

$T_3 = 2,0 \text{ s}$

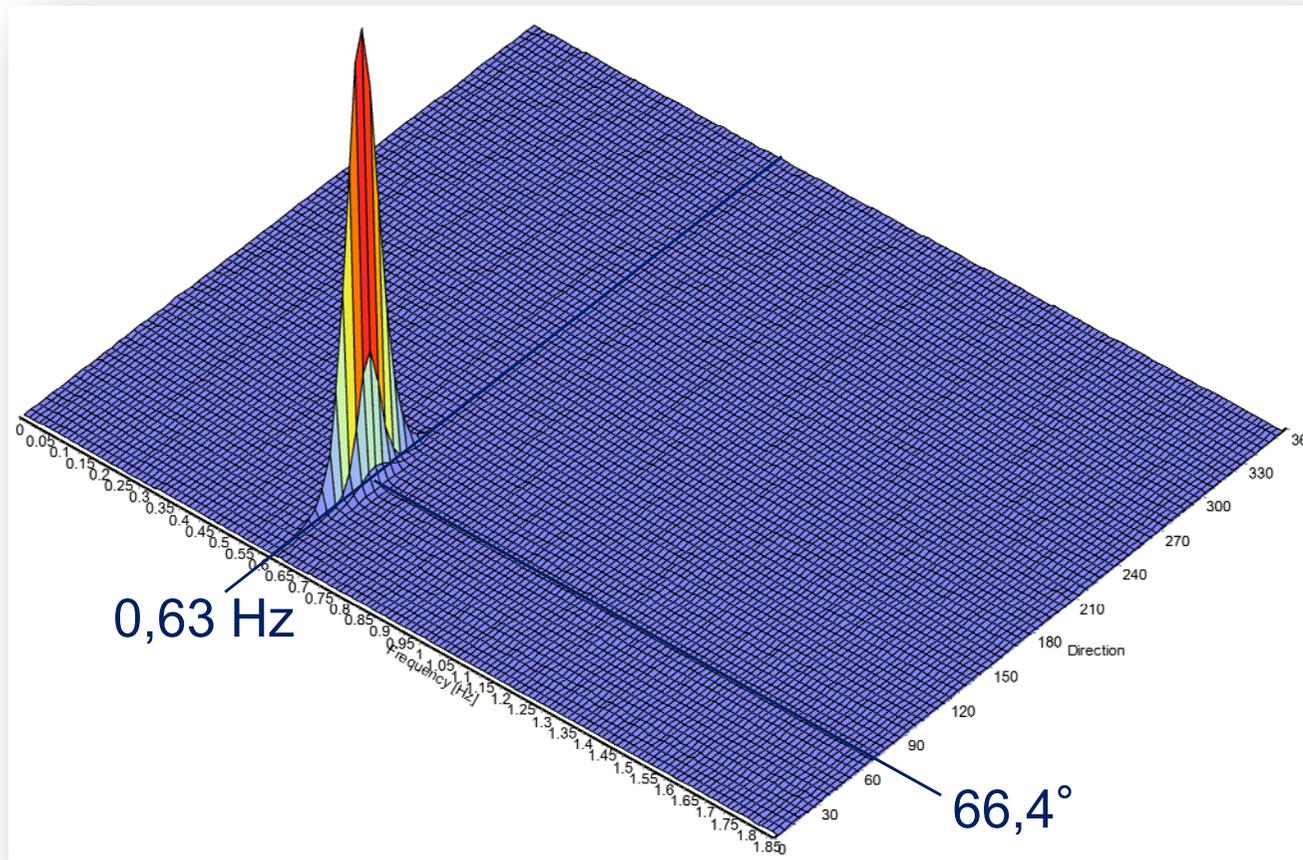
## CERC6-Wellenpegelfeld nach Andersen T. L., Frigaard P. B. (2014)



## Analysemethoden und Vorgehen

- Messzeiten
  - Minimale Wellenzahl für 3D-Wellenanalyse  $N = 560$  Wellen
  
- Abtastrate (sampling rate)
  - $f_s = 100$  Hz
  
- Analysemethoden
  - 3D-Wellenanalyse nach Bayesian Directional spectrum Method (BDM) (Hashimoto 1998)
  - 2D-Analysen der einzelnen Wellenpegel
    - optisch Auswertung
    - Zeitreihenanalyse
    - Zeitfrequenzanalyse

## 3D-Oberflächenspektrum ( $d = 0,60$ m, $T = 1,6$ s, $H = 0,10$ m, $\theta = 70^\circ$ ) Bayesian Directional spectrum Method (BDM)



### Ergebnis:

Einlaufende Welle

$$H = 0,097 \text{ m}$$

$$T = 1,595 \text{ s}$$

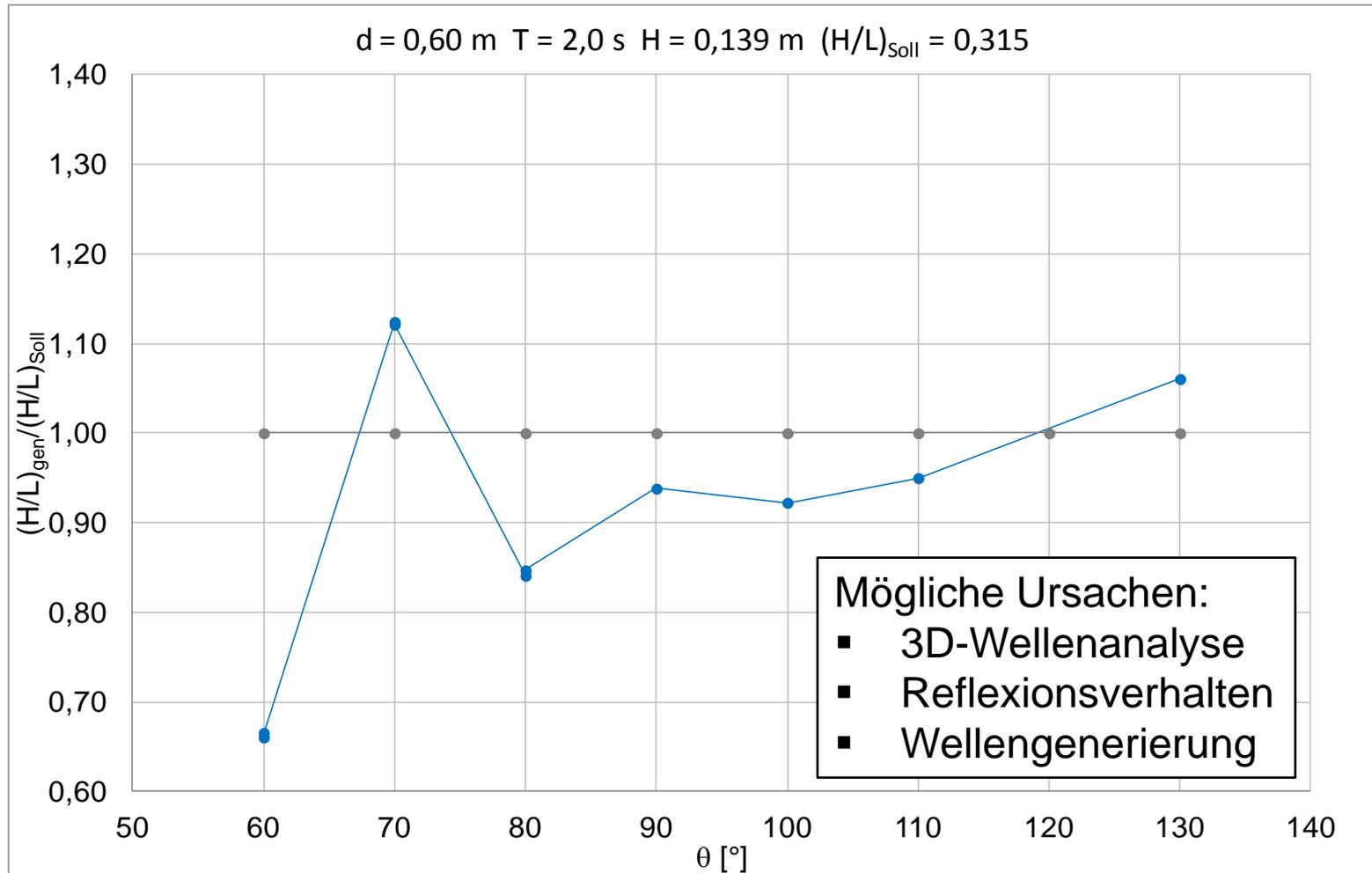
$$f = 0,63 \text{ Hz}$$

$$\theta_i = 66,4^\circ$$

Reflektierte Welle

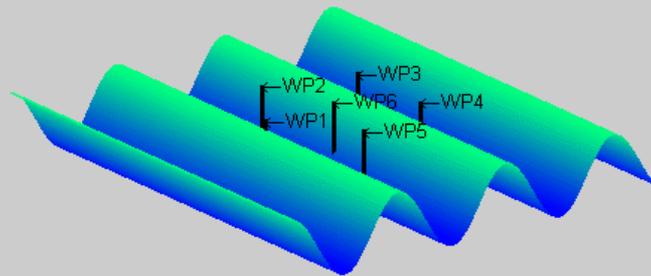
⇒ Keine signifikante  
Wellenreflexion  
vorhanden

## 3D-Ergebnisse der Wellenerzeugung mit variierenden Winkeln

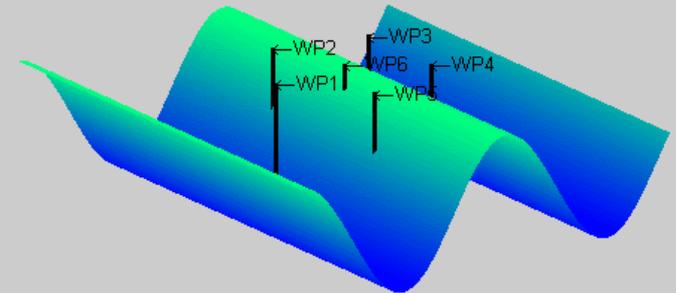


## Validierung der 3D-Wellenanalyse

$T = 1,28 \text{ s}; H = 0,073 \text{ m}; \theta = 45^\circ$



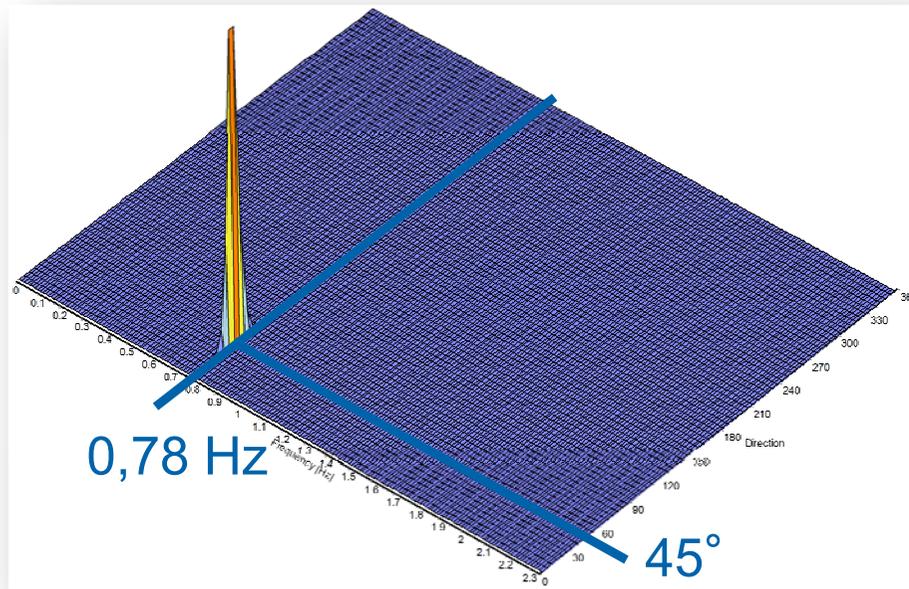
$T = 2,0 \text{ s}; H = 0,139 \text{ m}; \theta = 45^\circ$



- Wellenhöhe so gewählt, dass in beiden Fällen die gleiche Wellensteilheit  $H/L = 0,0315$  erfüllt ist.

## Validierung der 3D-Wellenanalyse

$T = 1,28 \text{ s}$ ;  $H = 0,073 \text{ m}$ ;  $\theta = 45^\circ$



Ergebnis:

$H = 0,073 \text{ m}$

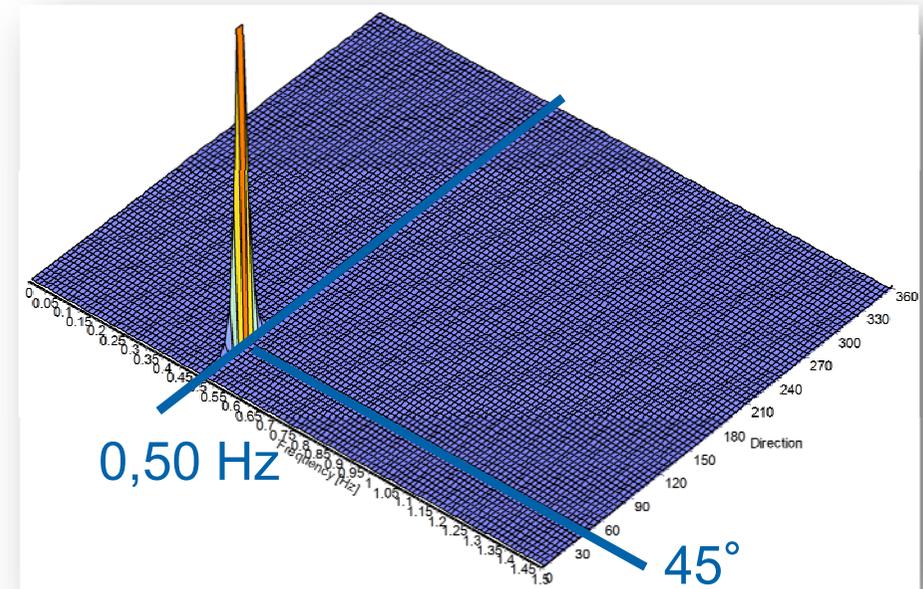
$T = 1,28 \text{ s}$

$f = 0,78 \text{ Hz}$

$\theta_i = 45^\circ$



$T = 2,0 \text{ s}$ ;  $H = 0,139 \text{ m}$ ;  $\theta = 45^\circ$



$H = 0,139 \text{ m}$

$T = 2,0 \text{ s}$

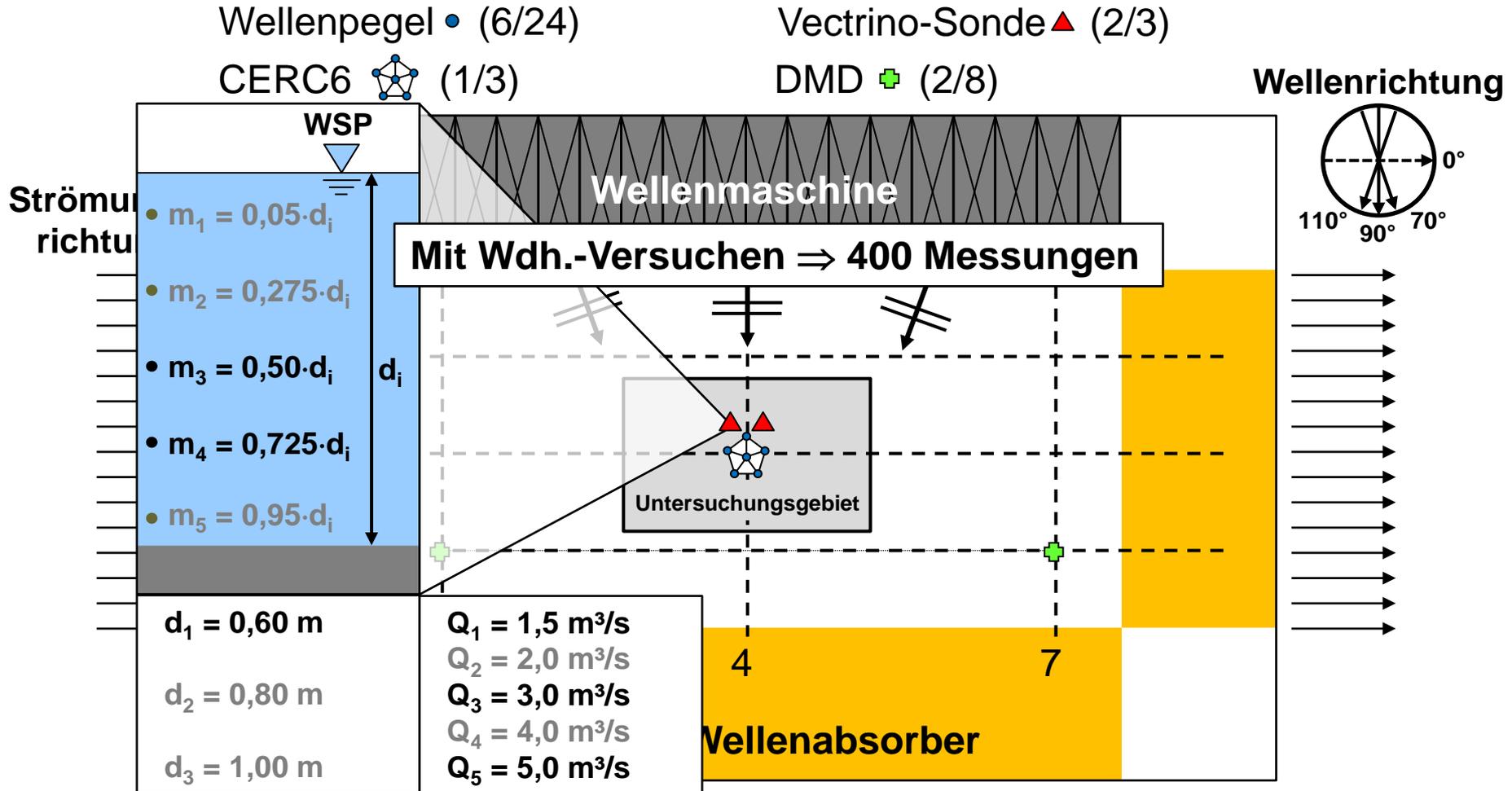
$f = 0,50 \text{ Hz}$

$\theta_i = 45^\circ$



# VERGLEICHSANALYSE ZWISCHEN NUR STRÖMUNG, NUR WELLEN UND WCI

## Versuchsaufbau für die WCI-Untersuchungen



## Verbindung der Dispersionsgleichung mit der Dopplerrelation, Peregrine (1976)

- Dispersionsgleichung

$$\sigma^2 = g \cdot k \cdot \tanh k \cdot d$$

- Dopplerrelation

$$\omega = \sigma + u \cdot k$$

- Verbindung der Dispersionsgleichung mit der Dopplerrelation

$$(\omega - k \cdot u)^2 = g \cdot k \cdot \tanh k \cdot d$$

u = Strömungsgeschwindigkeit

k = Wellenzahl

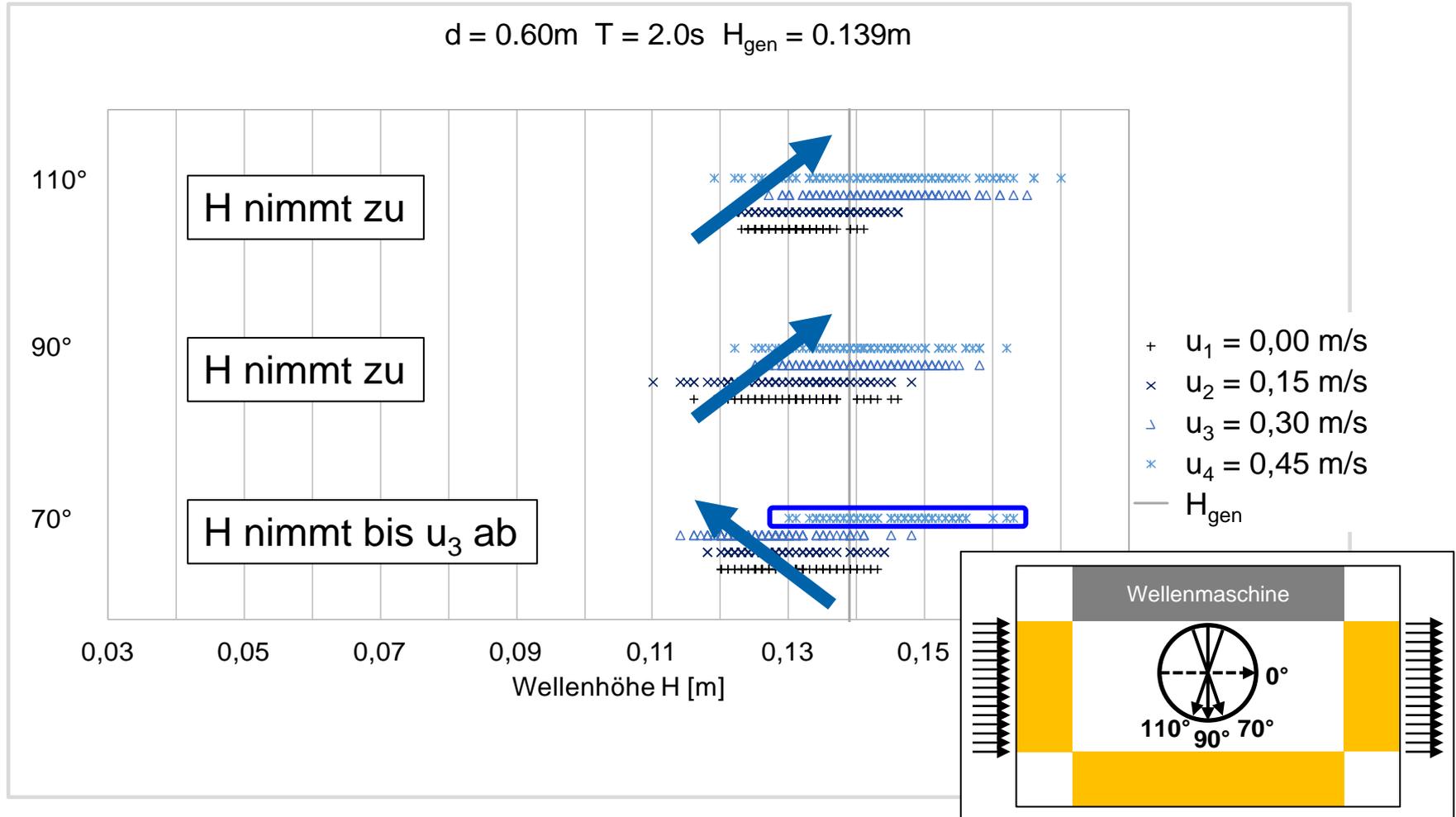
$\omega$  = Kreisfrequenz der Wellen im Bezugssystem, in dem u die Strömungsgeschwindigkeit ist

$\sigma$  = Kreisfrequenz der Wellen relativ zum Wasser

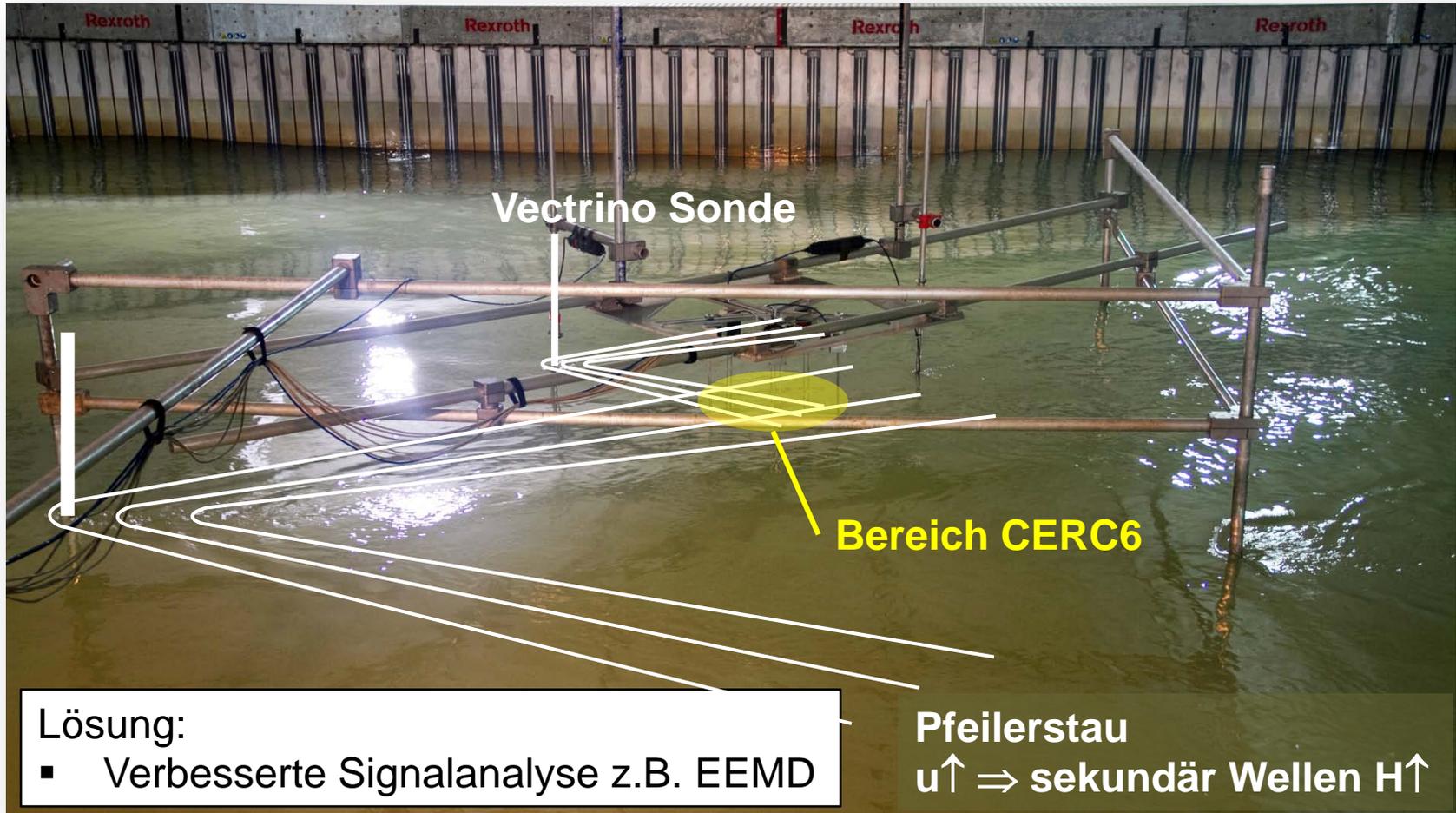
d = Wassertiefe

g = Erdbeschleunigung

## 2D-Ergebnisse zur WCI



## Einfluss der Wellenpegelfeldhalterung bei $u_4 = 0,45$ m/s



# AUSBLICK

## Versuchsaufbau zur Untersuchung des Reflexionsverhalten der drei Beckenseiten nach Maximum Likelihood Method (MLM)

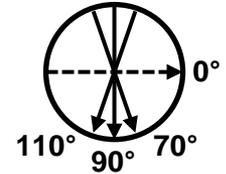
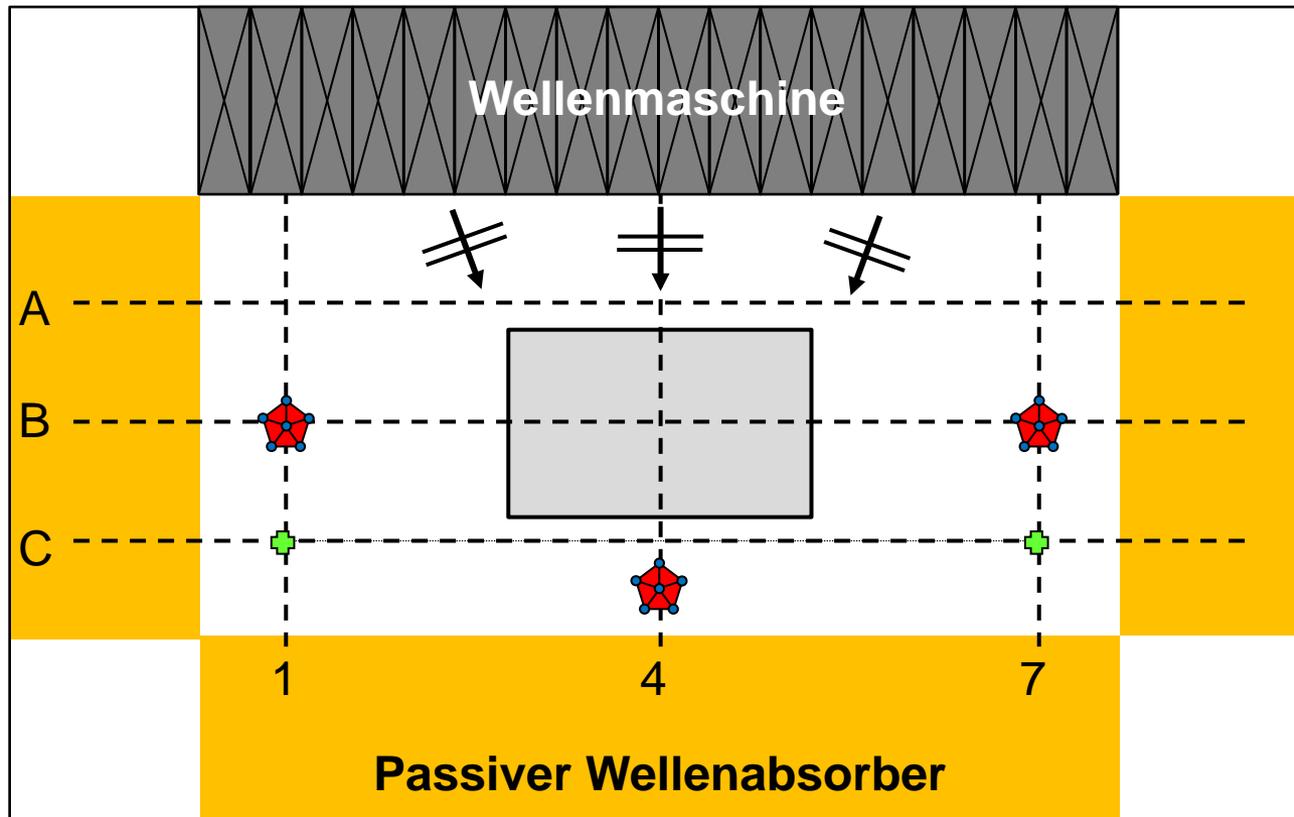
Wellenpegel ● (18/24)

Vectrino-Sonde ▲ (0/3)

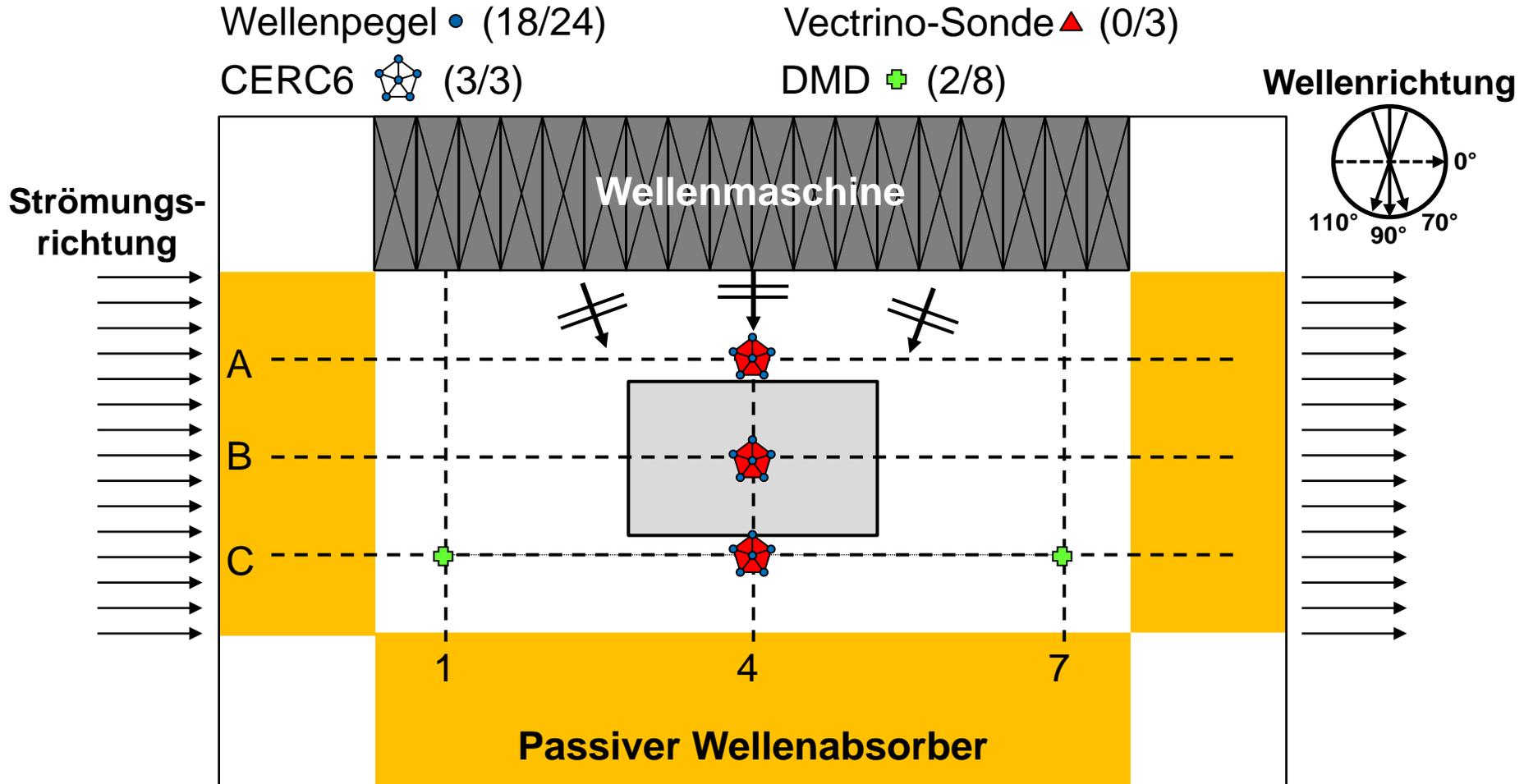
CERC6  (3/3)

DMD  (2/8)

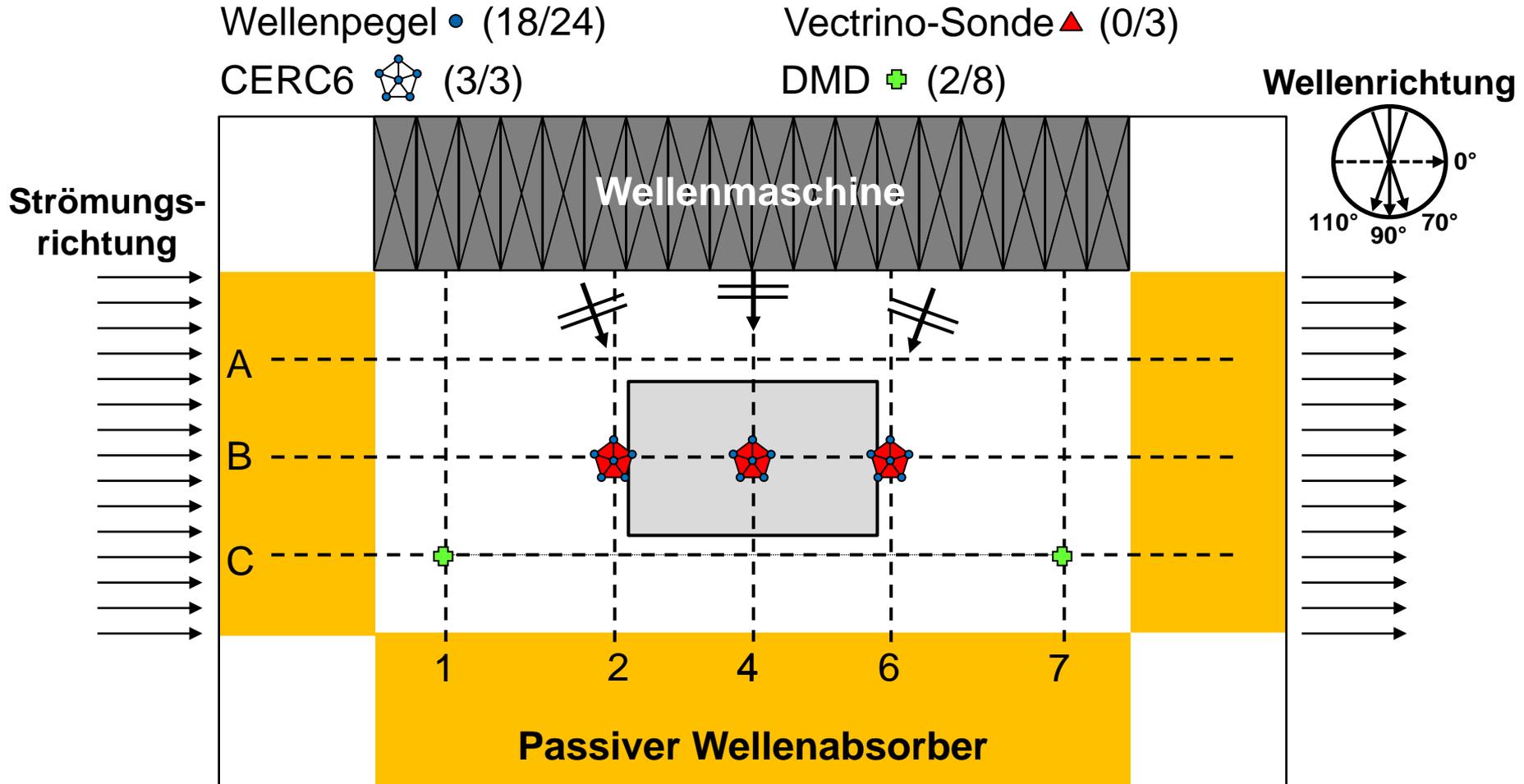
Wellenrichtung



## Versuchsaufbau für die WCI-Untersuchungen über die Beckenbreite

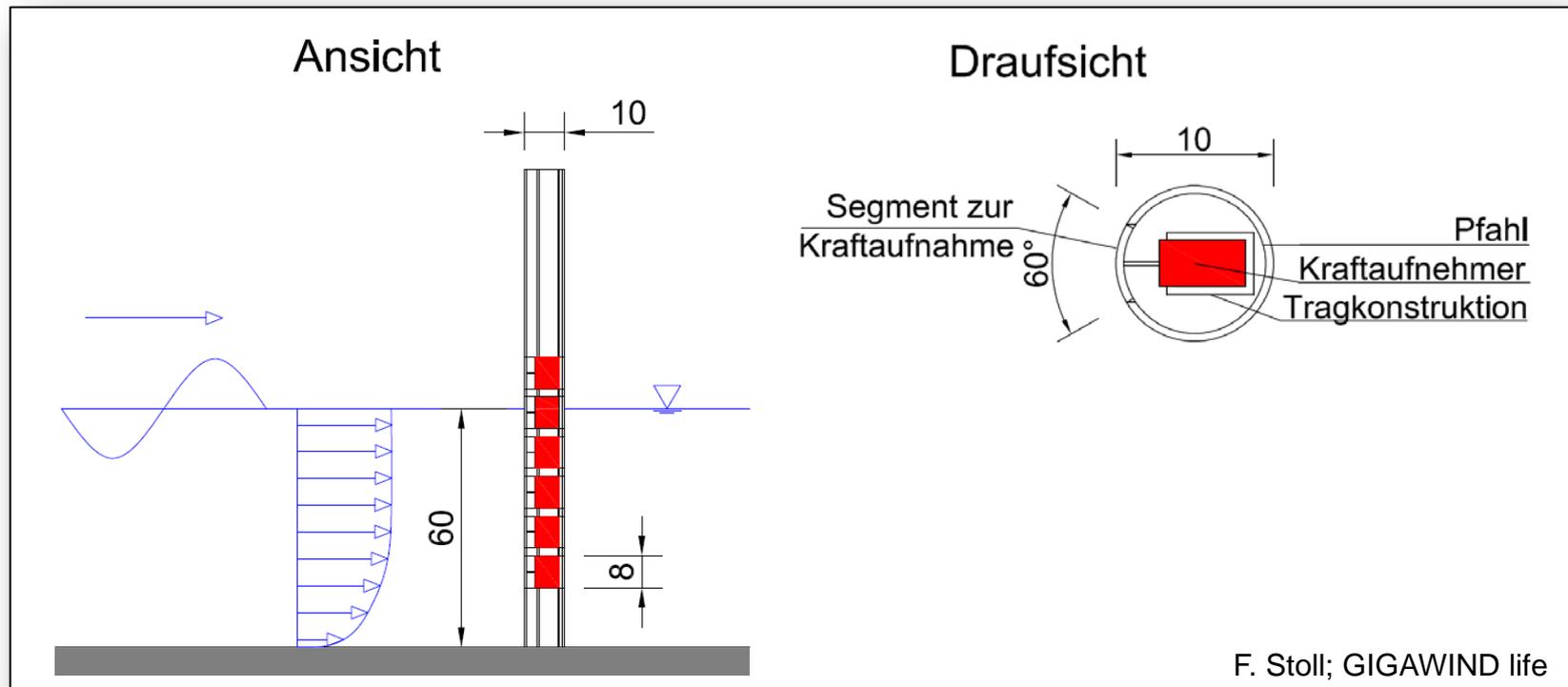


## Versuchsaufbau für die WCI-Untersuchungen über die Beckenlänge



## WCI mit Pfahlstruktur

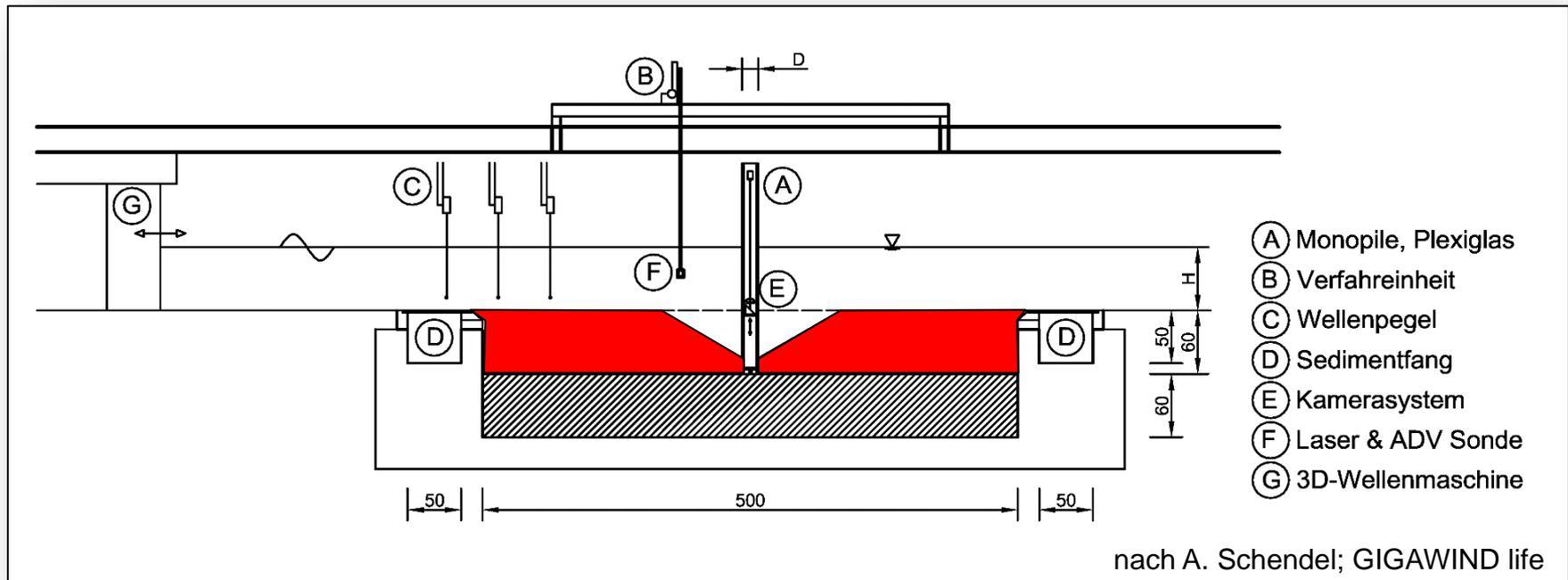
- Kraftaufnehmer
- Einzelne verschieb- und drehbare Pfahlsegmente  
→ Variation der Wellenart und -richtung und  
Strömungsinteraktion



F. Stoll; GIGAWIND life

## WCI mit beweglicher Sohle

- Versuchsprogramm beinhalten u.a. folgende Untersuchungsschwerpunkte:
  - Kolkentstehung aufgrund von WCI
  - Langzeitversuche



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

FKZ: 03KIS107



**Vielen Dank für Ihr Interesse!**