



12. FZK Kolloquium  
Maritime Technologien –  
Perspektiven für Wissenschaft und Wirtschaft

# Wissen und Strategien zu Kolken und Kolkschutzmaßnahmen an Gründungen von Offshore-Windenergieanlagen

Dr.-Ing. Karsten Peters  
Ramboll IMS Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburg

Hannover, 22.02.2017



1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
3. Ermittlung der Kolktiefe
4. Kolkenschutzstrategien
5. Design und Auslegung des Kolkenschutzes
6. Bauverfahren und Logistik
7. Monitoring und Maintenance
8. Ausführungsvarianten des Kolkenschutzes
9. Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen
10. Zusammenfassung

# Einführung

## Kolk – Ergebnis natürlicher morphodynamischer Prozesse

„Störungen“ im Regime verursachen einen dynamischen Anpassungsprozess der natürlichen Morphologie.

### ↳ Kolk

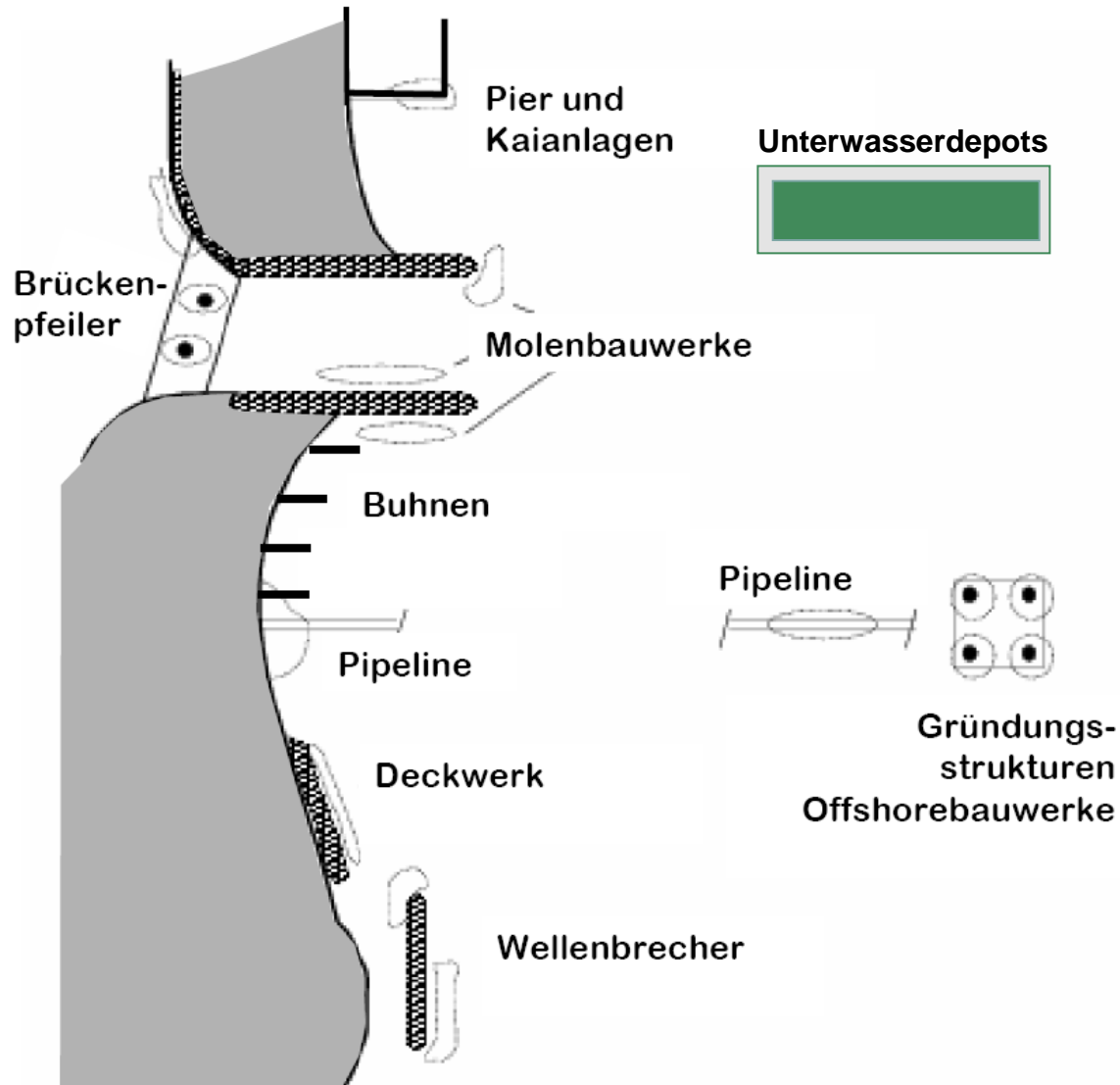
#### Der Kolk-Prozess

- ist dynamisch,
- ist ein Zeitprozess,
- strebt einem Gleichgewichtszustand entgegen und
- ist selbstbegrenzend



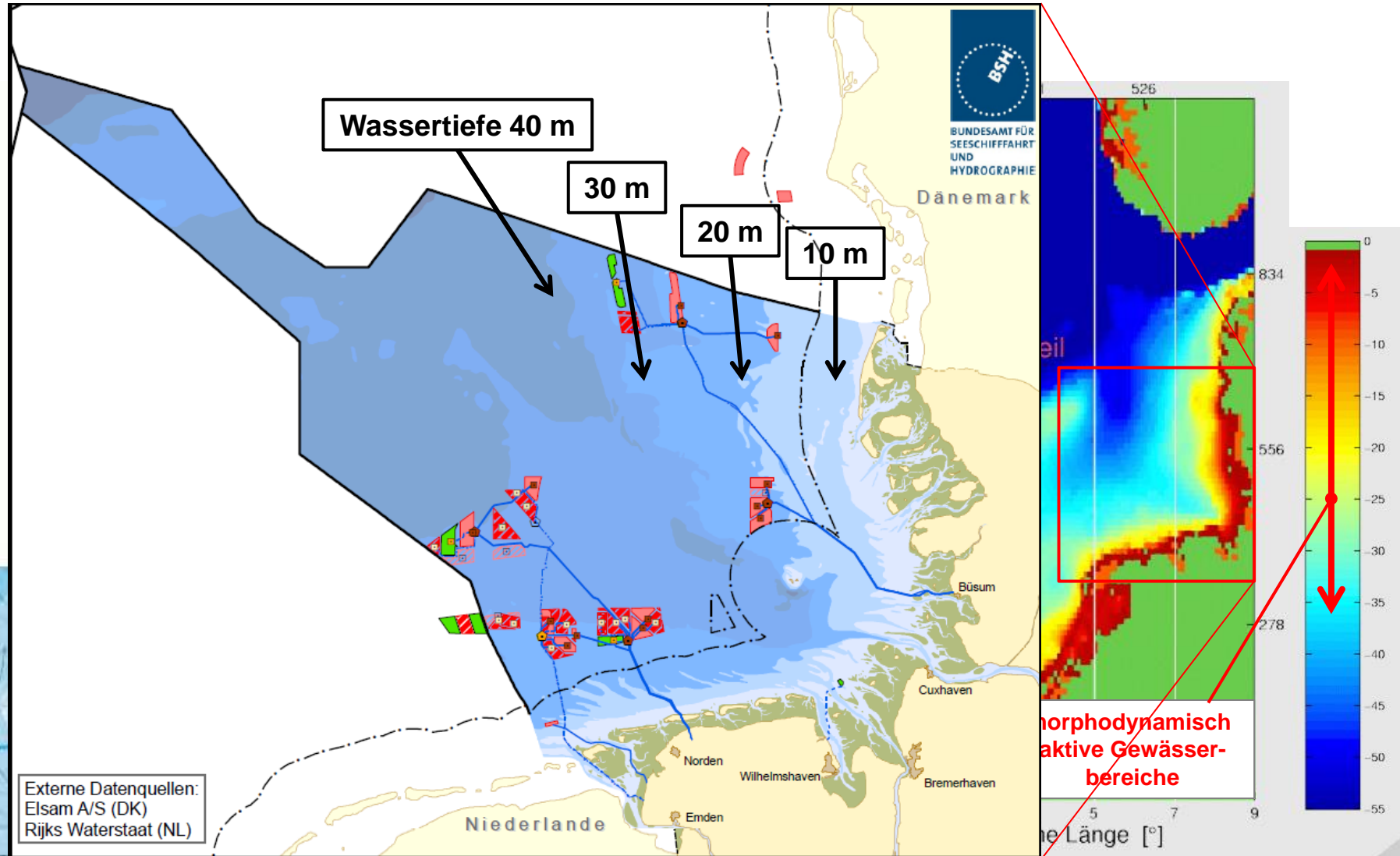
# Einführung

## Bedeutung von Kolkprozessen in der Ingenieurpraxis



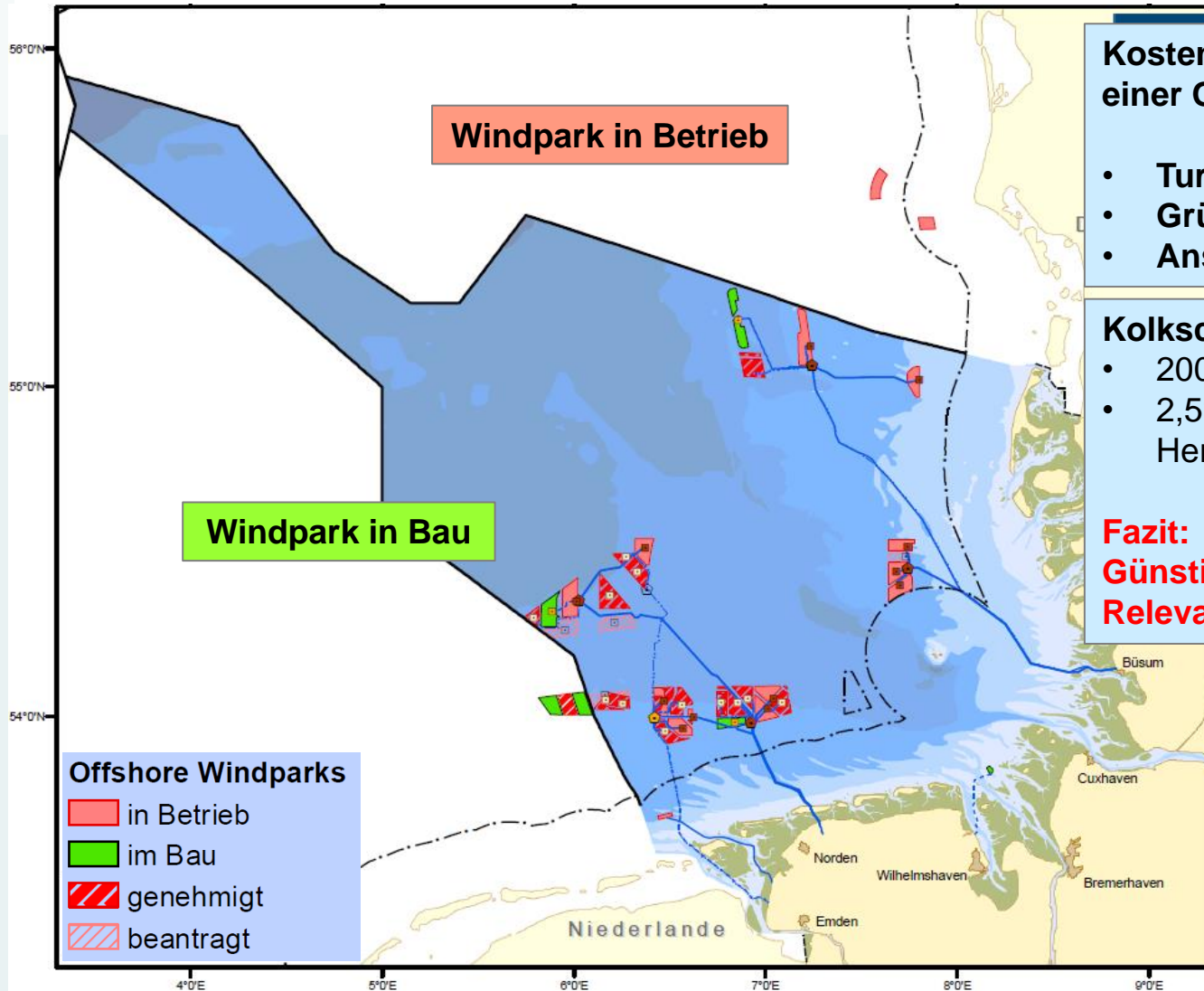
# Einführung

## Kolk – Bedeutung für die Ingenieurpraxis / Offshore und Offshore-Wind



# Einführung

## Kolk – Bedeutung für die Ingenieurpraxis / Offshore-Wind



### Kostenanteile für die Herstellung einer OWEA

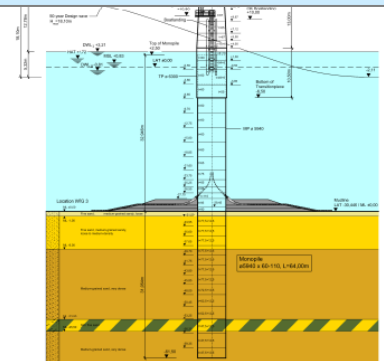
- Turbine 55%
- Gründung 35%
- Anschluss 10%

### Kolkschutz

- 200 - 400 T€ (Monopile)
- 2,5% - 3% der Herstellungskosten

### Fazit:

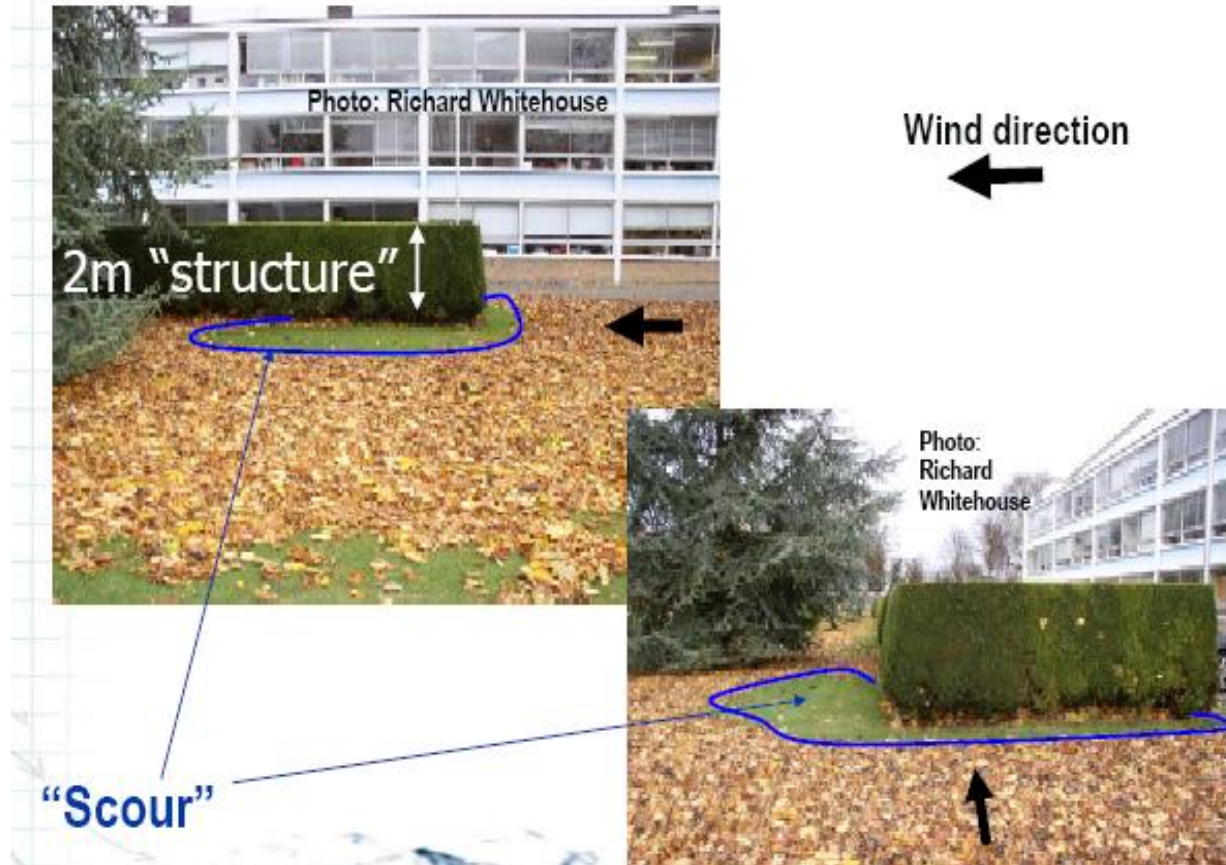
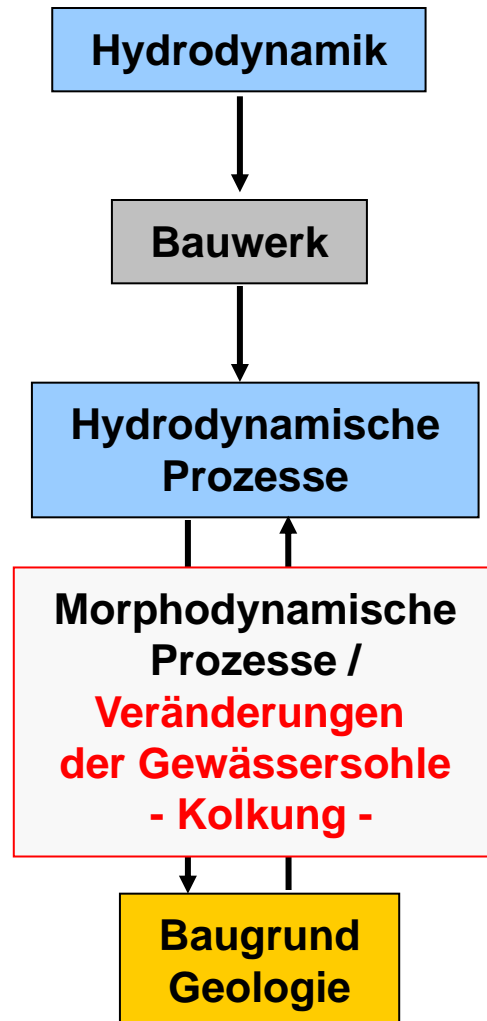
**Günstiges Bauteil von großer Relevanz !**



1. Einleitung
- 2. Kolkprozesse und Einflussparameter**
3. Ermittlung der Kolktiefe
4. Kolkenschutzstrategien
5. Design und Auslegung des Kolk schutzes
6. Bauverfahren und Logistik
7. Monitoring und Maintenance
8. Ausführungsvarianten des Kolk schutzes
9. Kolk und Kolk schutz an Offshore-Gründungen
- 10. Zusammenfassung**

# Kolkprozesse und Einflussparameter

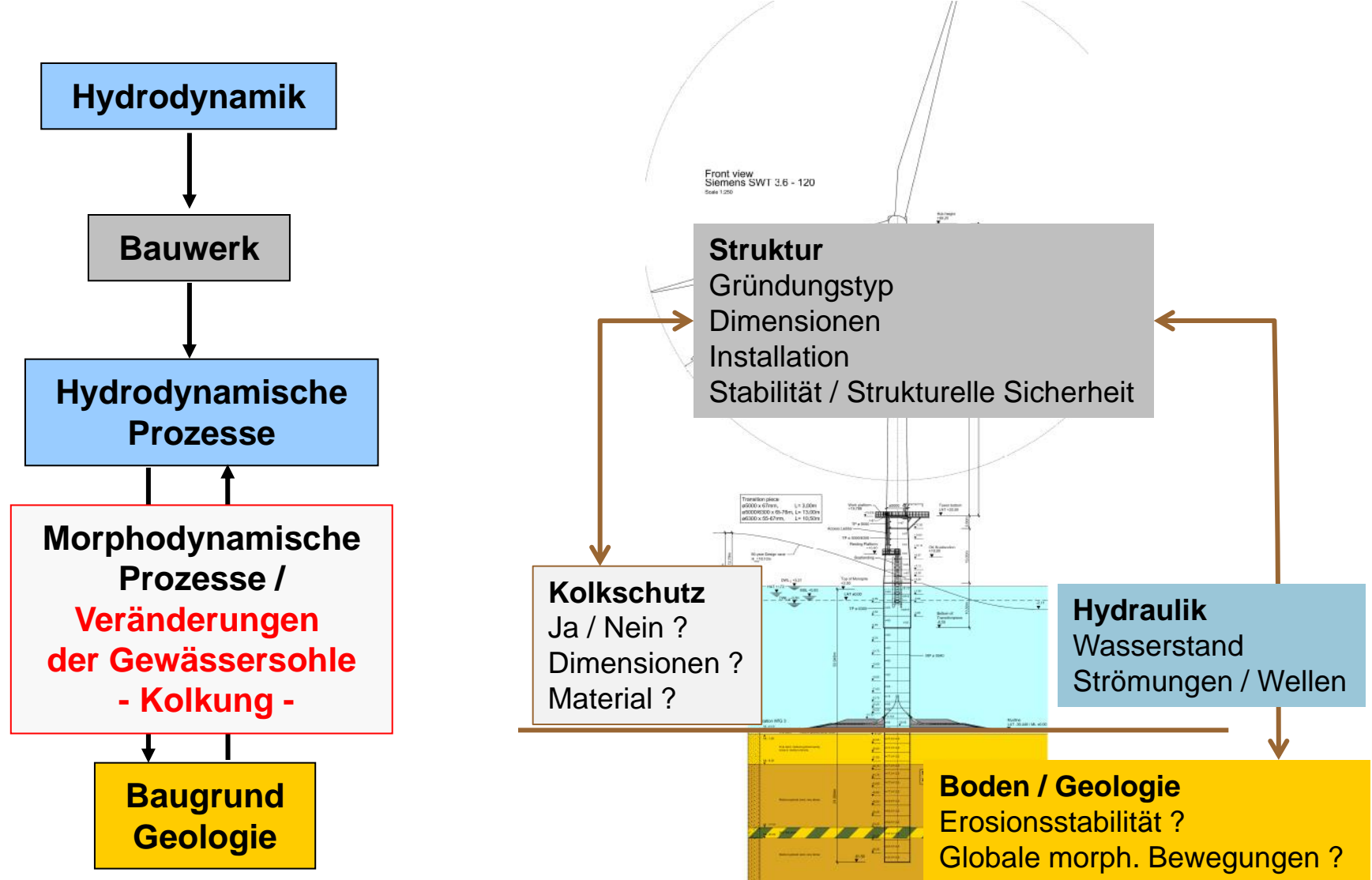
Kolk = f (Hydraulik, Gewässersohle, Bauwerk, Zeit)





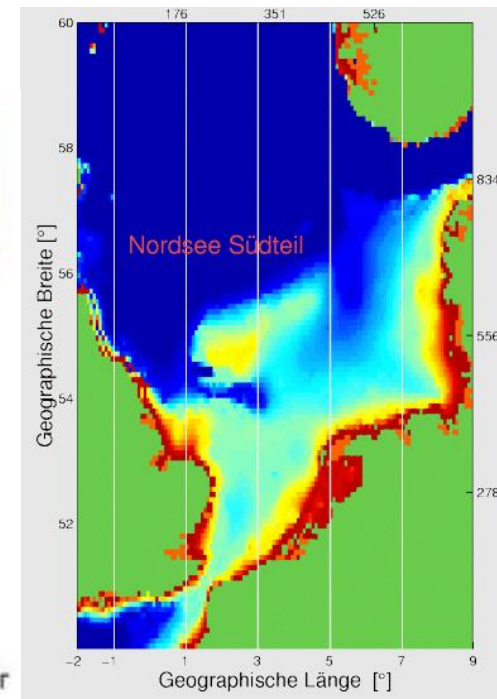
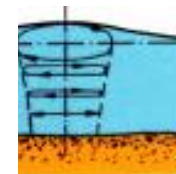
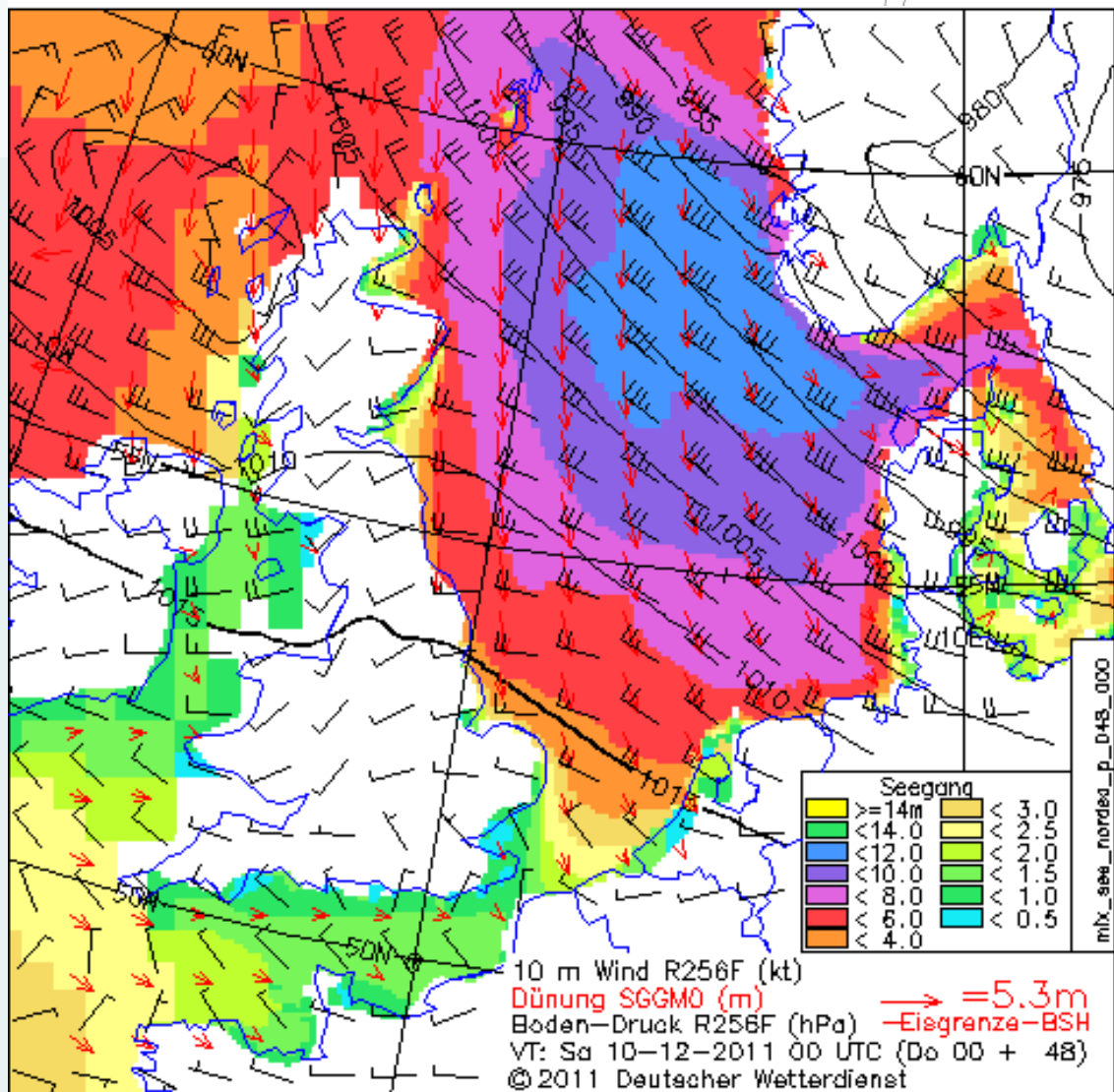
# Kolkprozesse und Einflussparameter

Kolk = f (Hydraulik, Gewässersohle, Bauwerk, Zeit)



# Kolkprozesse und Einflussparameter

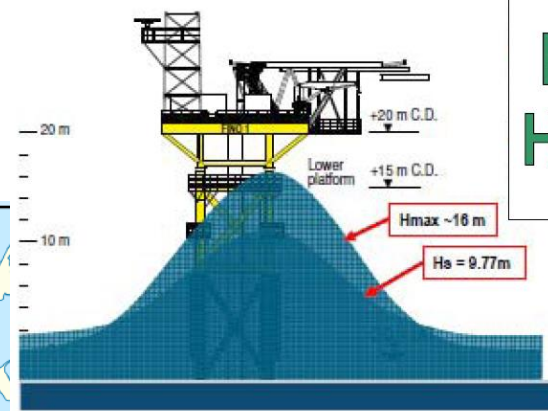
Kolk = f (Hydraulik, Gewässersohle, Bauwerk, Zeit)



## Wissen und Strategien zu Kolken und Kolk Schutzmaßnahmen

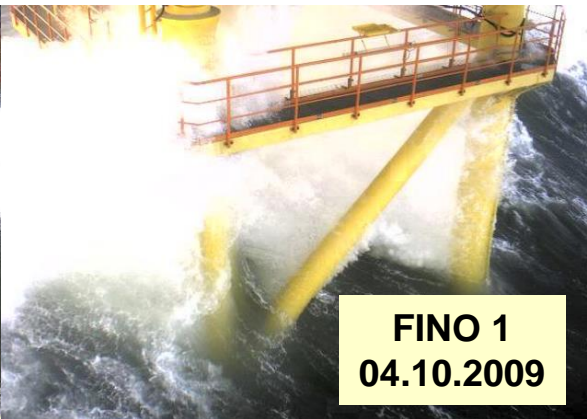
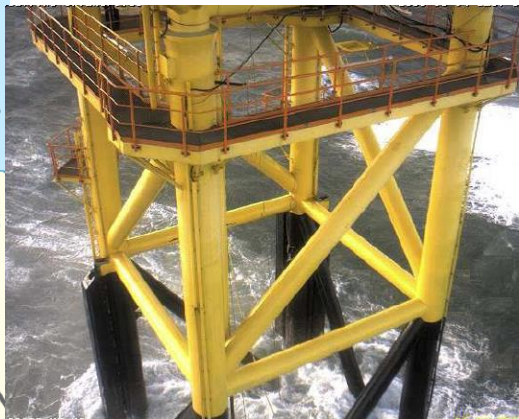
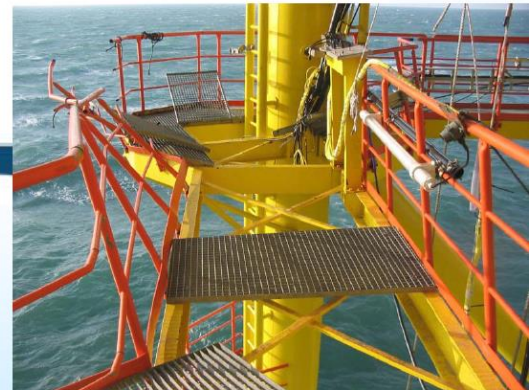
# Kolkprozesse und Einflussparameter

Kolk = f (Hydraulik, Gewässersohle, Bauwerk, Zeit)

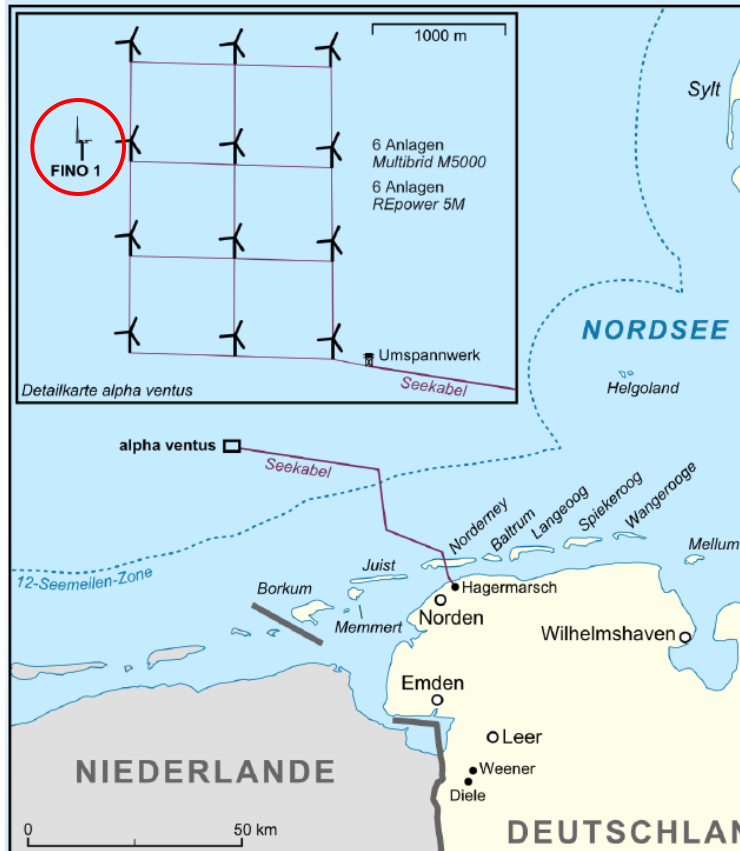


Hs = 9.77 m  
Hmax ~ 16 m

Wave measurements during hurricane "Britta", 01.11.2006, taken from a presentation of Gundula Fischer, GL,

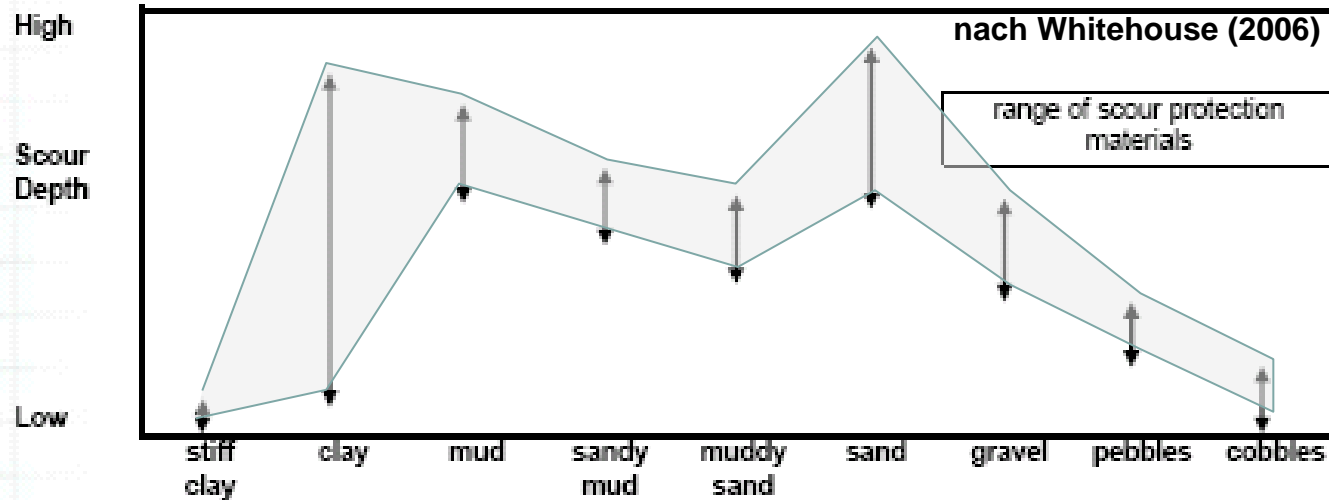


FINO 1  
04.10.2009



# Kolkprozesse und Einflussparameter

Kolk = f (Hydraulik, **Gewässersohle**, Bauwerk, Zeit)

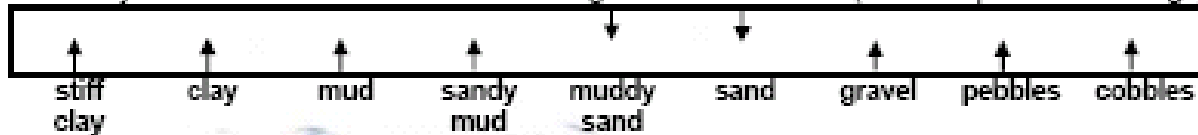


Sediment Type

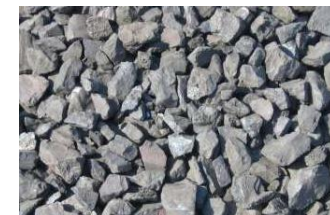
Abnahme der Mobilität

Zunahme der Erosionsstabilität

Tendency for scour to increase or decrease during extreme wave event (based on present knowledge)



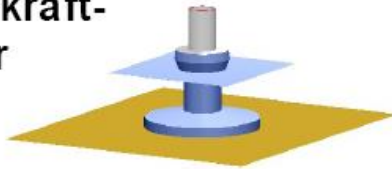
liquefaction risk



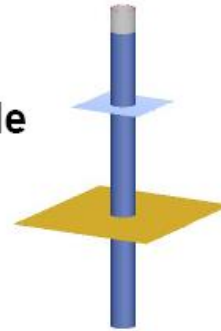
# Kolkprozesse und Einflussparameter

Kolk = f (Hydraulik, Gewässersohle, **Bauwerk**, Zeit)

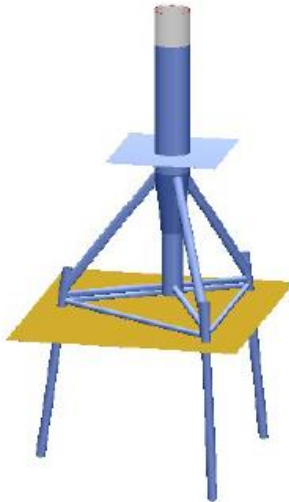
Schwerkraft-  
struktur



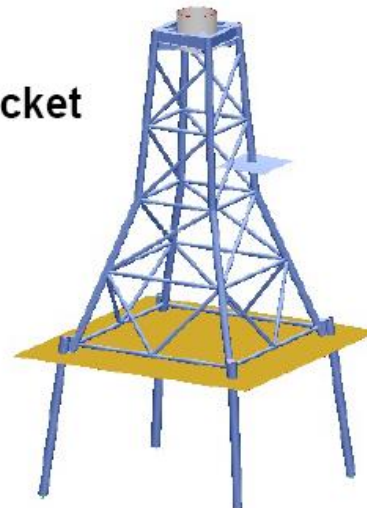
Monopile



Tripod



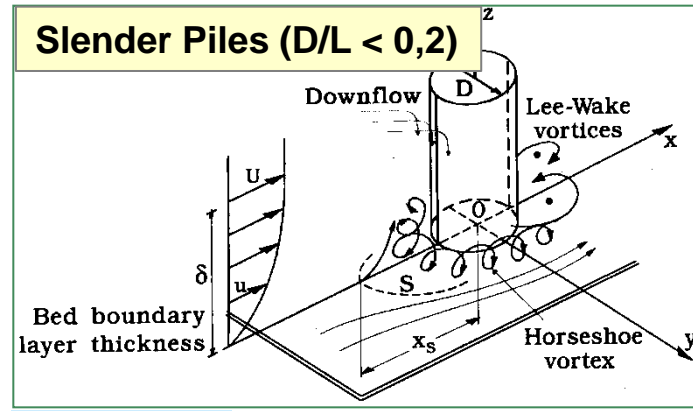
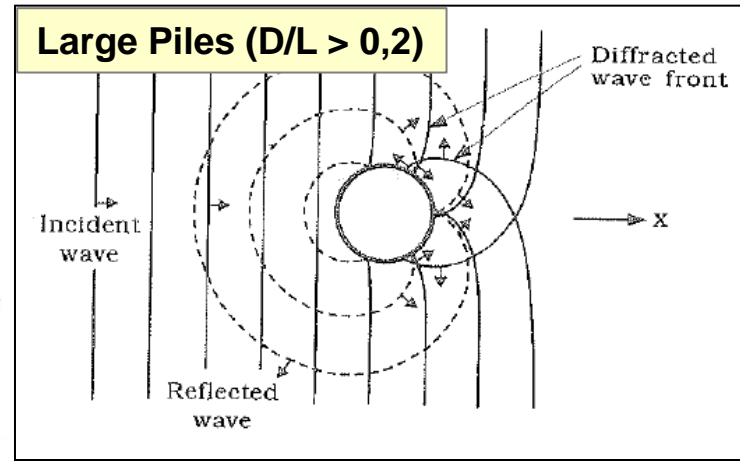
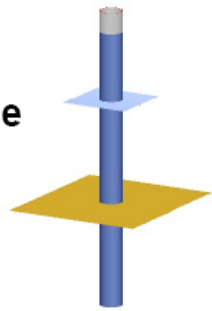
Jacket



# Kolkprozesse und Einflussparameter

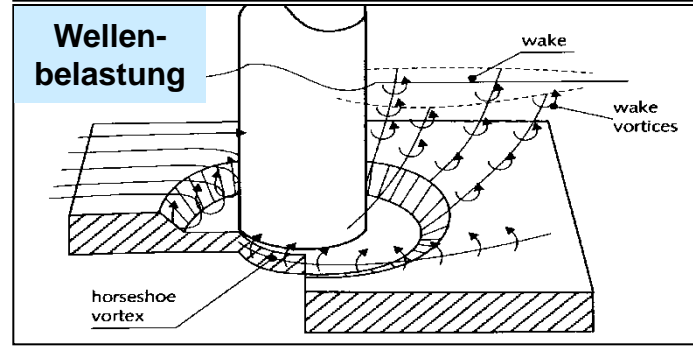
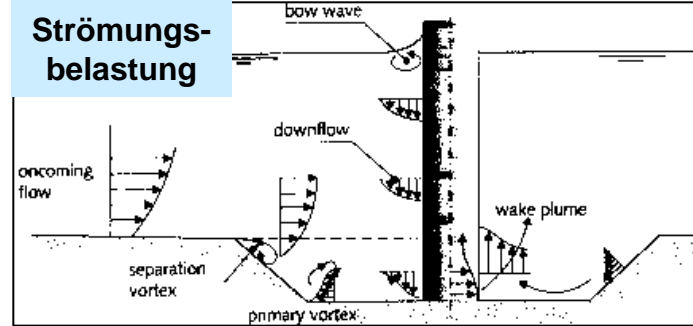
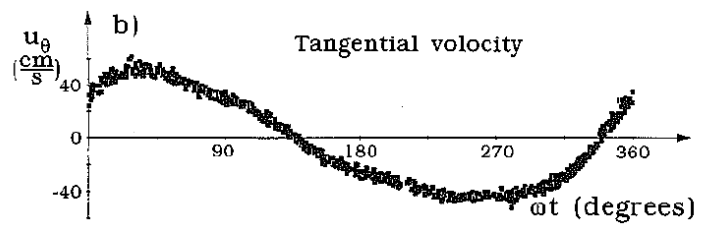
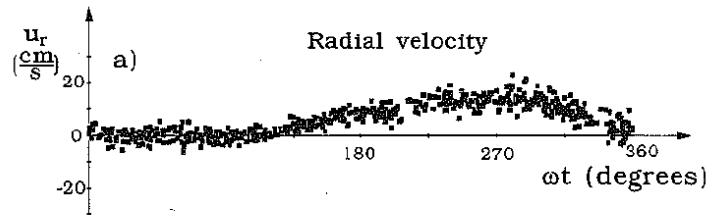
Kolk = f (Hydraulik, Gewässersohle, **Bauwerk**, Zeit)

Monopile



Large Piles

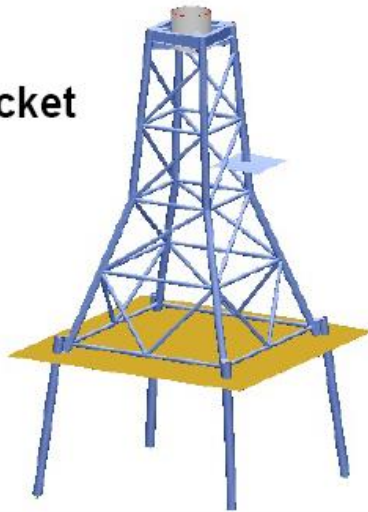
- Phase-resolved flow around the pile
- Steady streaming



# Kolkprozesse und Einflussparameter

Kolk = f (Hydraulik, Gewässersohle, **Bauwerk**, Zeit)

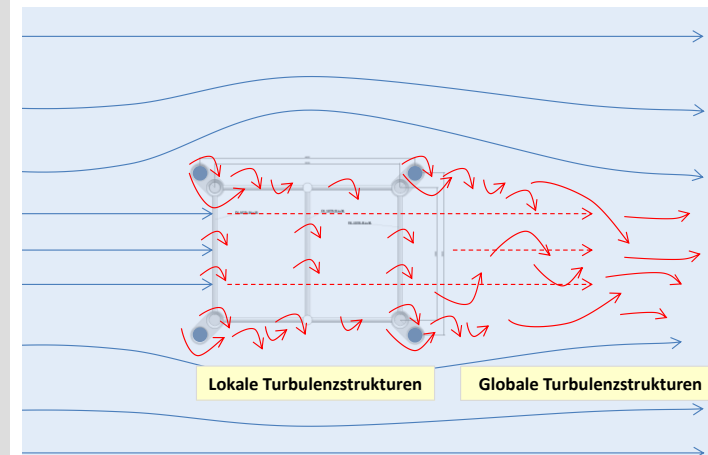
Jacket



## Mit der Komplexität und dem Verbauungsgrad der Struktur

- steigt auch die Störung und der Einfluss auf das Strömungsregime (*blockage*)
- erhöht sich der Grad der Turbulenz
- vergrößert sich der Nachlauf
- erhöht sich der Einfluss morphodynamischer Prozesse auf die Sohle

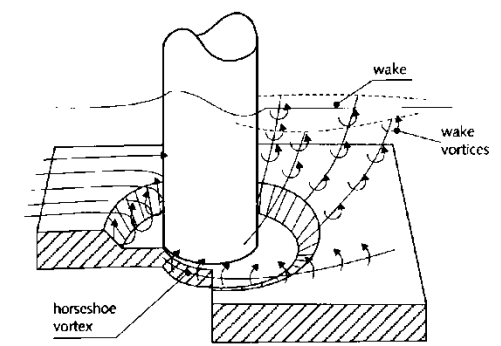
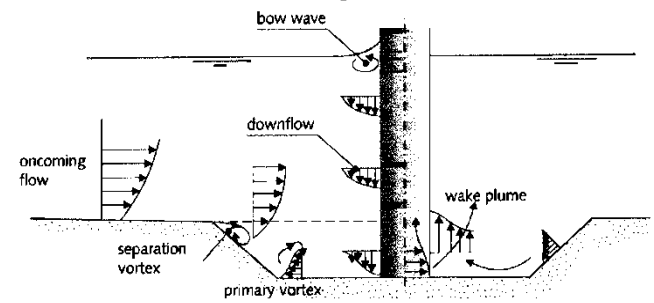
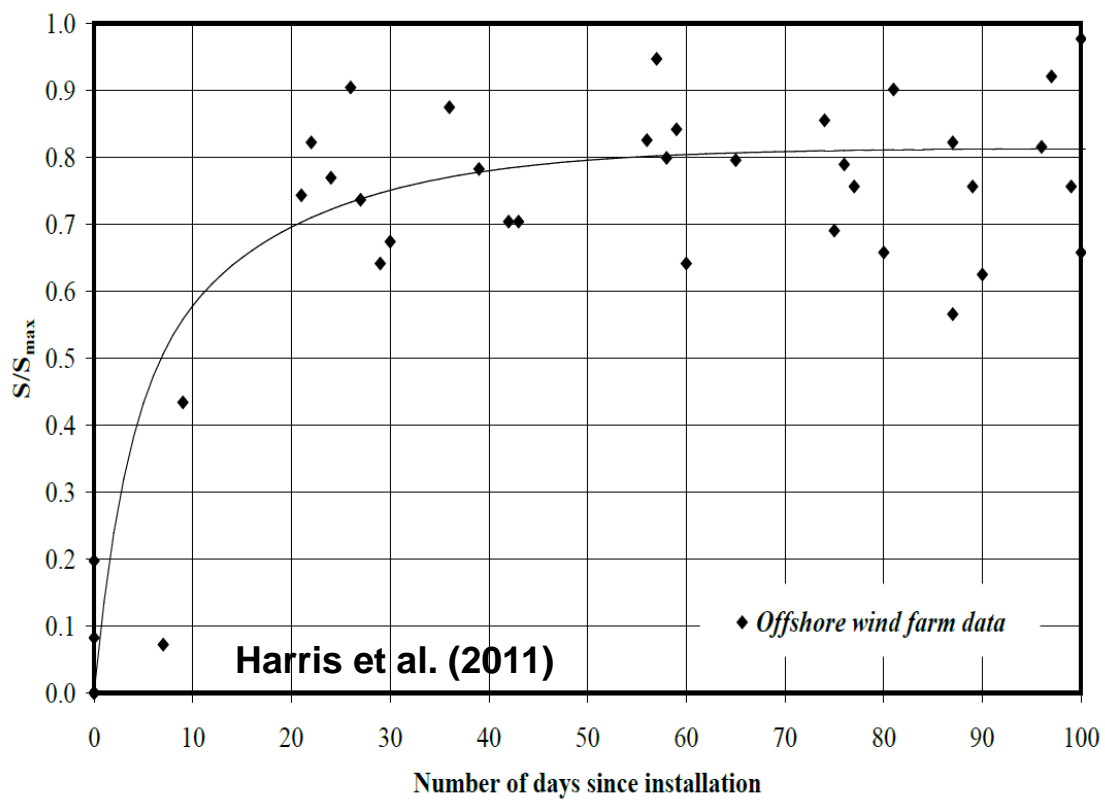
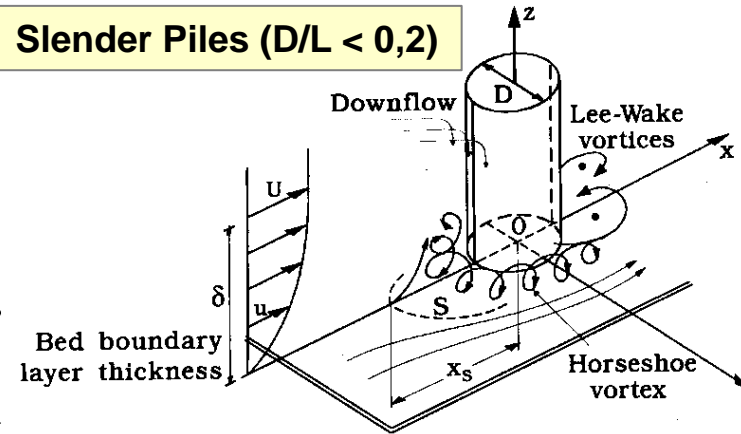
Reynolds-Zahl-Bereich	Strömungsbereich	Strömungsform	Strömungscharakteristik
$Re \rightarrow 0$	schleichende Strömung		stationär, kein Nachlauf
$3 - 4 < Re < 30 - 40$	Wirbelpaar im Nachlauf		stationär, Ablösung symmetrisch
$30 < Re < 80$ $40 < Re < 90$	Einsetzen der Kármánschen Wirbelstraße		laminar, Nachlauf instabil
$80 < Re < 150$ $90 < Re < 300$	reine Kármánsche Wirbelstraße		Kármánsche Wirbelstraße
$150 < Re < 10^5$ $300 < Re < 1.3 \cdot 10^5$	unterkritischer Bereich		laminarer Nah-Nachlauf mit Wirbelstraßen-Instabilität
$10^5 < Re < 3 \cdot 10^6$ $1.3 \cdot 10^5 < Re < 3 \cdot 10^6$	kritischer Bereich		laminare Ablösung, turbulentes Anlegen turbulente Ablösung, turbulenter Nachlauf
$3 \cdot 10^6 < Re$	überkritischer Bereich (transkritisch)		turbulente Ablösung



# Kolkprozesse und Einflussparameter

Kolk = f (Hydraulik, Gewässersohle, Bauwerk, **Zeit**)

Slender Piles ( $D/L < 0,2$ )





1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
- 3. Ermittlung der Kolktiefe**
4. Kolkschutzstrategien
5. Design und Auslegung des Kolkschutzes
6. Bauverfahren und Logistik
7. Monitoring und Maintenance
8. Ausführungsvarianten des Kolkschutzes
9. Kolk und Kolkschutz an Offshore-Gründungen
- 10. Zusammenfassung**

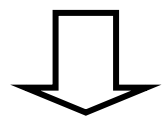
# Ermittlung der Kolktiefe

## Interaktion Hydrodynamik - Bauwerk

Grundvoraussetzung für die Beschreibung von Kolkprozessen und Ableitung von Schutzmaßnahmen:

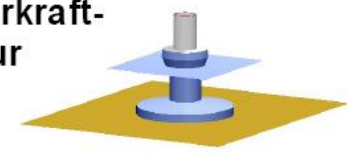
### Genaue Beschreibung der Interaktion Hydrodynamik – Bauwerk

- Fachliteratur
- Modellversuche
- Numerische Berechnungen
- Naturmessungen
- Monitoring vorh. Gründungen
- Erfahrungen

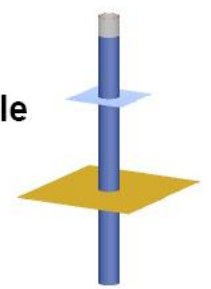


**Ableitung des Kolkprozesses in Raum und Zeit und Bestimmung erforderlicher Schutzmaßnahmen**

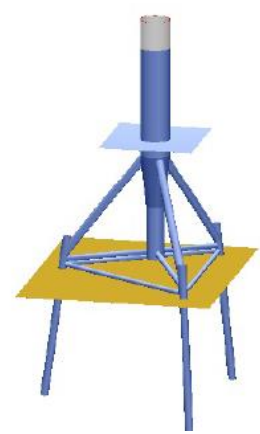
Schwerkraftstruktur



Monopile



Tripod



Jacket



# Ermittlung der Kolktaiefe

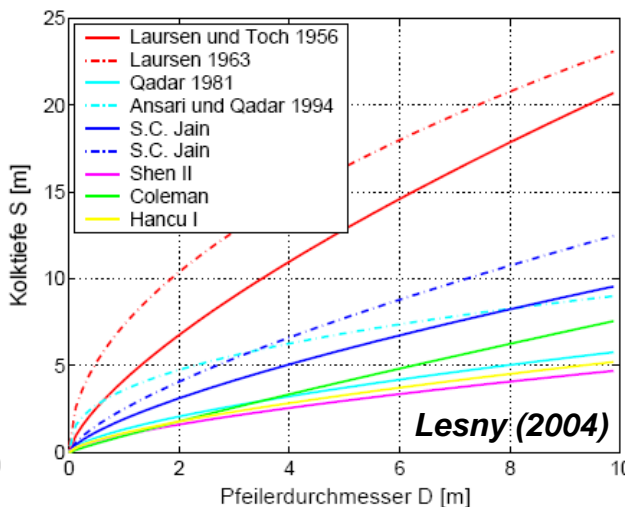
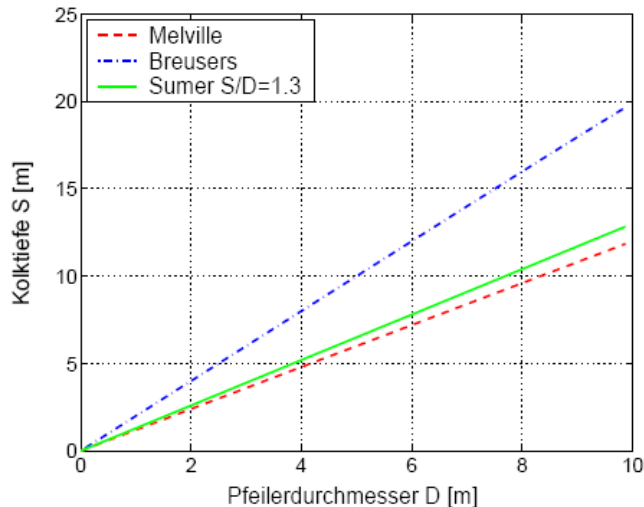
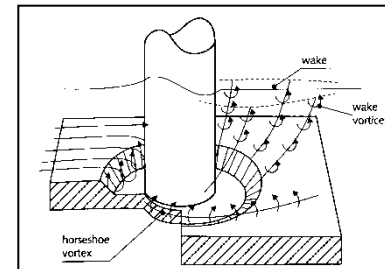
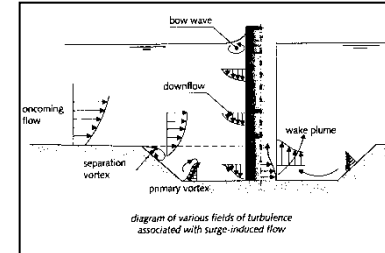
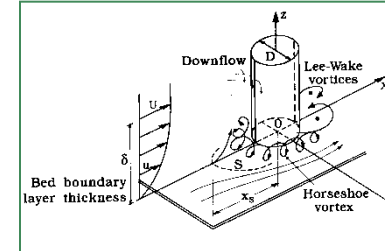
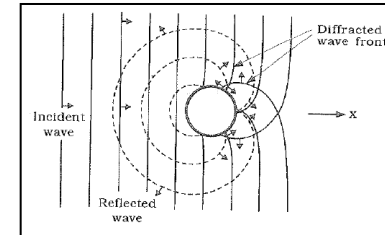
## Interaktion Hydrodynamik – Bauwerk (Beispiel Monopile)

Ansätze zur Abschätzung der Kolktaiefe an Pfählen, gleichmäßige Strömung, für  $h = 30\text{ m}$ ,  $D = 6\text{ m}$ ,  $U_c = 0,5\text{ m/s}$ ,  $U_{cr} = 1,0\text{ m/s}$  /Unruh und Zielke 2004/

**Bestehende Ansätze zur Kolktaiefenberechnung am Monopile besitzen große Unsicherheiten.**

### Auswahl bestehender Ansätze

Autor	Jahr	Formel	Ermittelte Kolktaiefe [m]
Laursen & Toch	1956	$\frac{S}{D} = 1,5 \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^{0,3}$	14,6
Laursen	1963	$\frac{S}{D} = 1,34 \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^{0,5}$	18,0
Qadar	1981	$\frac{S}{D} = 1,33 \cdot D^{-0,36}$	4,2
Ansari & Qadar	1994	$\frac{S}{D} = 3,60 \cdot D^{-0,6}$ (für $D > 2,2\text{ m}$ )	7,4
Jain	1981	$\frac{S}{D} = 1,41 \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^{0,3} \cdot \left(\frac{U_{cr}}{\sqrt{g \cdot h}}\right)^{0,25}$	6,7
Jain	1981	$\frac{S}{D} = 1,84 \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^{0,3} \cdot \left(\frac{U_{cr}}{\sqrt{g \cdot h}}\right)^{0,25}$	8,8
Shen II	1969	$\frac{S}{D} = 3,4 \cdot \left(\frac{U_c}{\sqrt{g \cdot D}}\right)^{0,66}$	3,4



# Ermittlung der Kolktaiefe

Interaktion Hydrodynamik – Bauwerk (Beispiel Monopile)

Strömungsbelastung

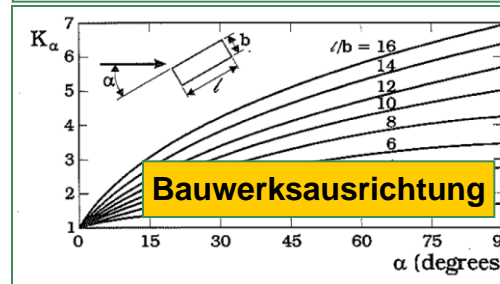
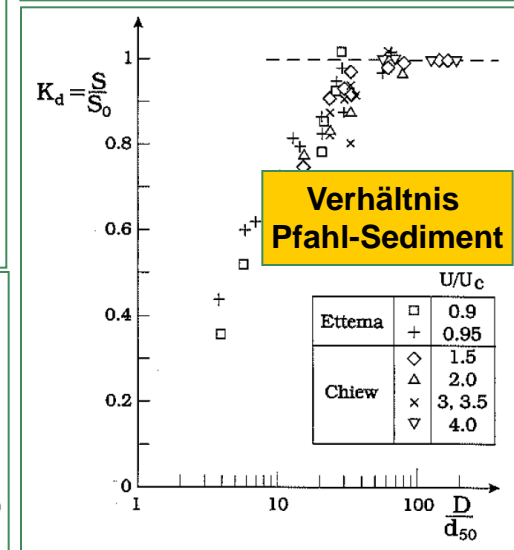
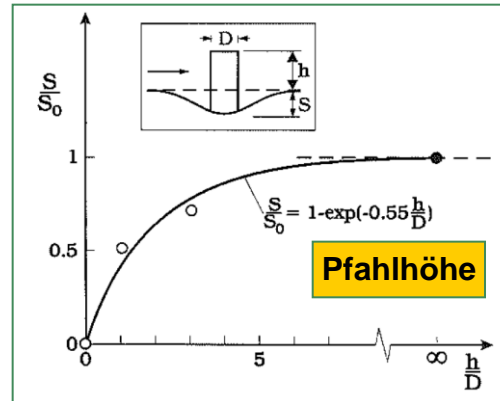
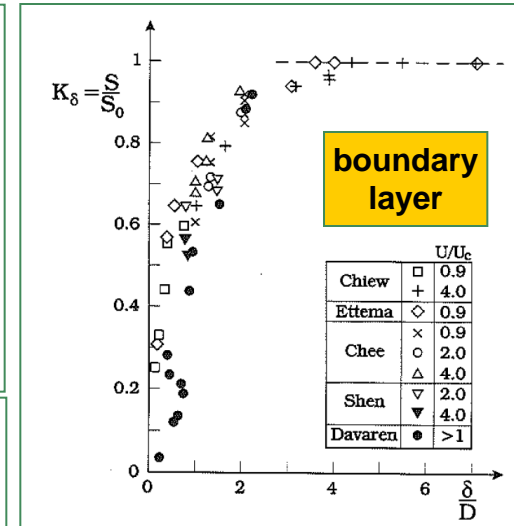
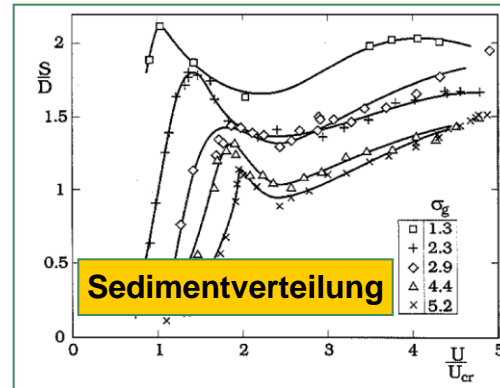
Kolktaiefenermittlung bei Strömungsbelastung als Funktion von

- Sedimentverteilung
- boundary layer
- Verhältnis Pfahl-Sediment
- Pfahlhöhe
- Bauwerksausrichtung

Berechnungsansatz relative Kolktaiefe  $S/D = K_I K_\delta K_d K_s K_\alpha$

Nach Sumer und Fredsøe (2002) ergibt sich die relative Kolktaiefe

- im Mittel zu  $S/D = 1,3$
- Standardabweichung  $\sigma_{S/D} = 0,7$



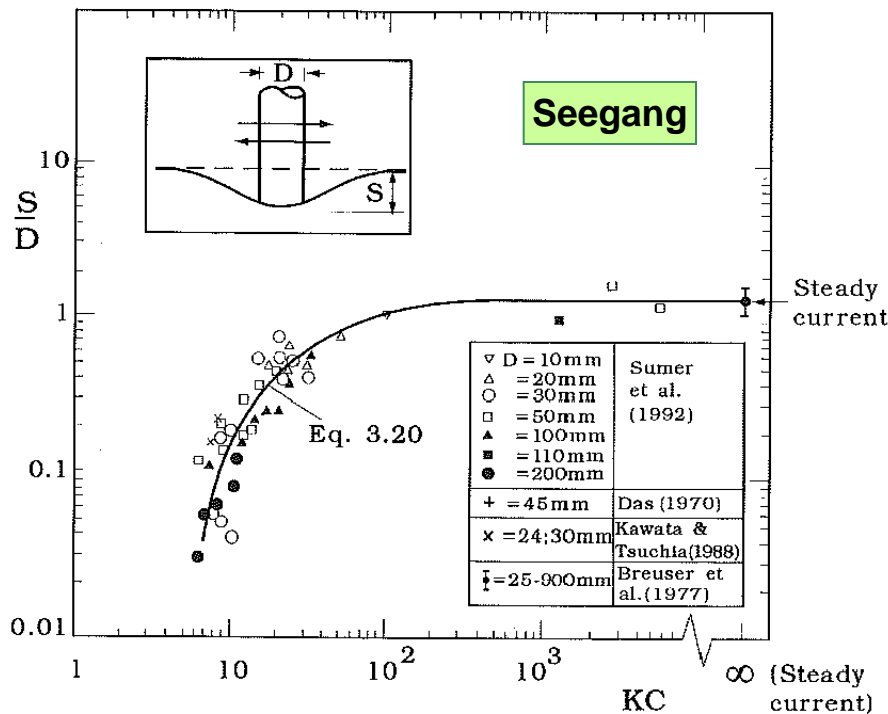
# Ermittlung der Kolktaiefe

Interaktion Hydrodynamik – Bauwerk (Beispiel Monopile)

Seegang

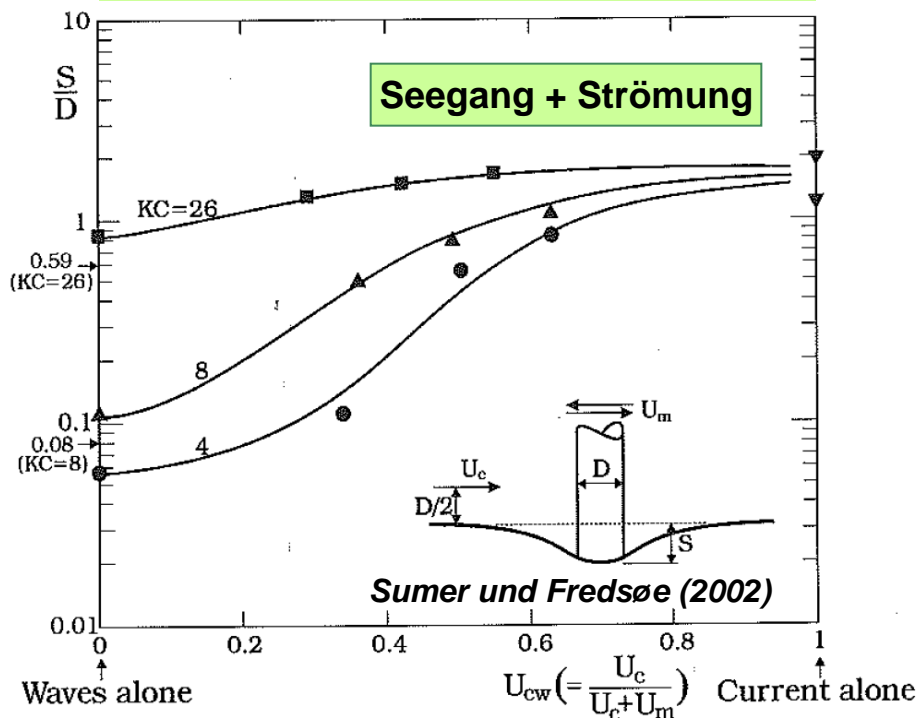
## Kolktaiefenermittlung bei Seegang als Funktion

- KC-Zahl ( $KC = u_w T/D$ )



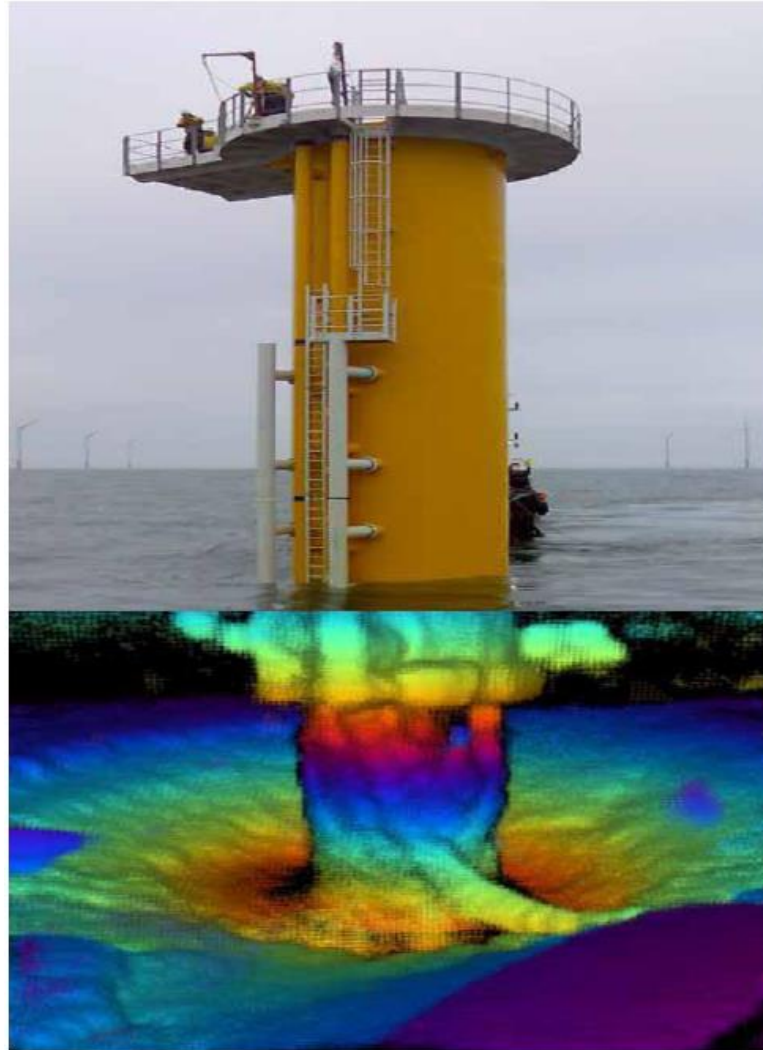
## Kolktaiefenermittlung bei Seegang und Strömung als Funktion

- KC-Zahl ( $KC = u_w T/D$ )
- Strömungsverhältnis  $u_{cw}$



# Ermittlung der Kolkentiefe

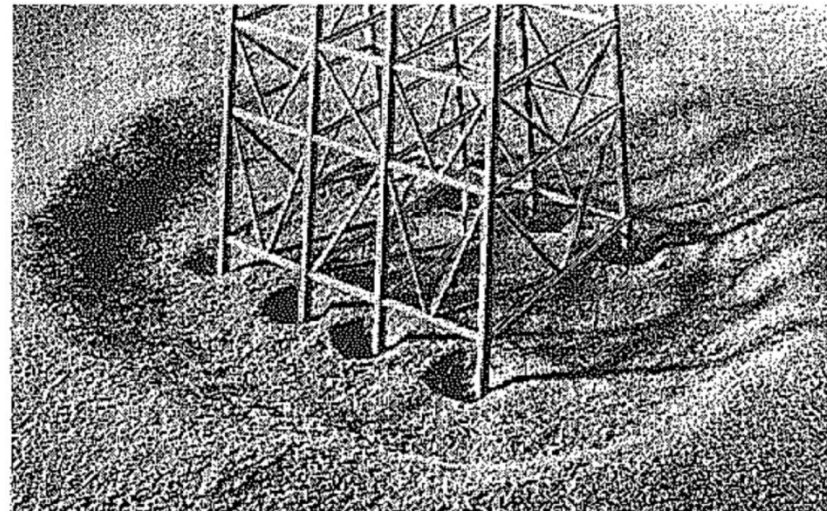
## Interaktion Hydrodynamik – Bauwerk (Beispiel Monopile)



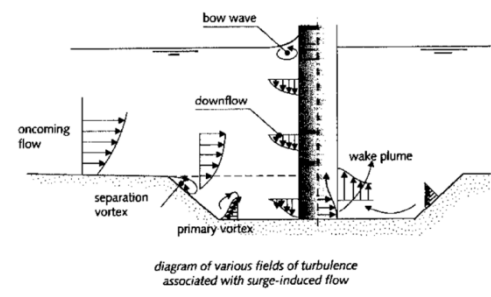
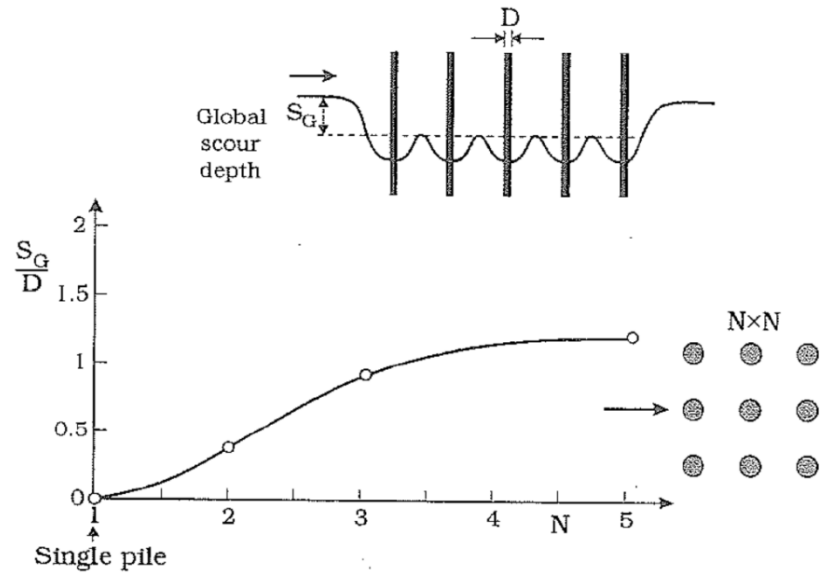
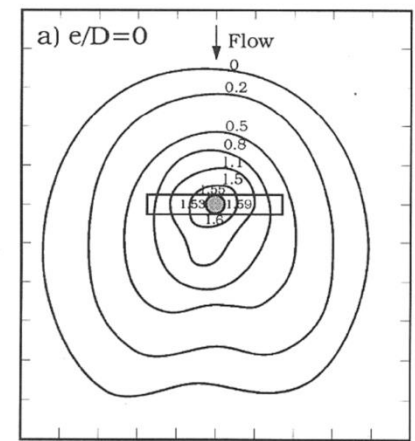
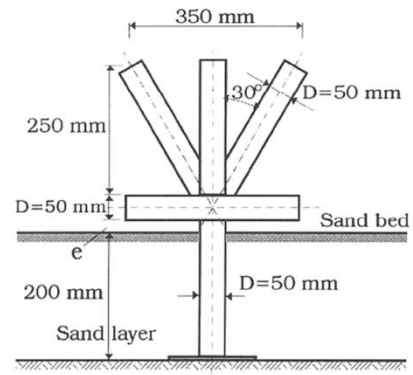
©: Achim Schmidt / IMS

# Ermittlung der Kolkentiefe

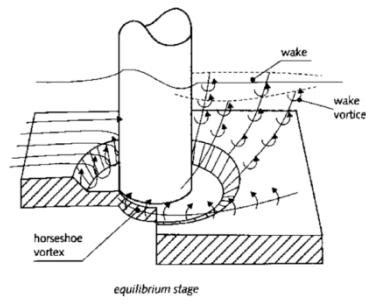
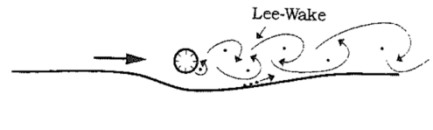
Was bedeutet das für ein komplexes Bauwerk ?



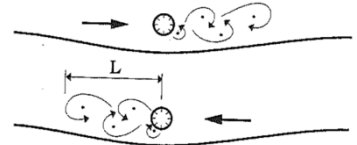
**Totaler Kolk = globaler Kolk + lokaler Kolk**



Tideströmung

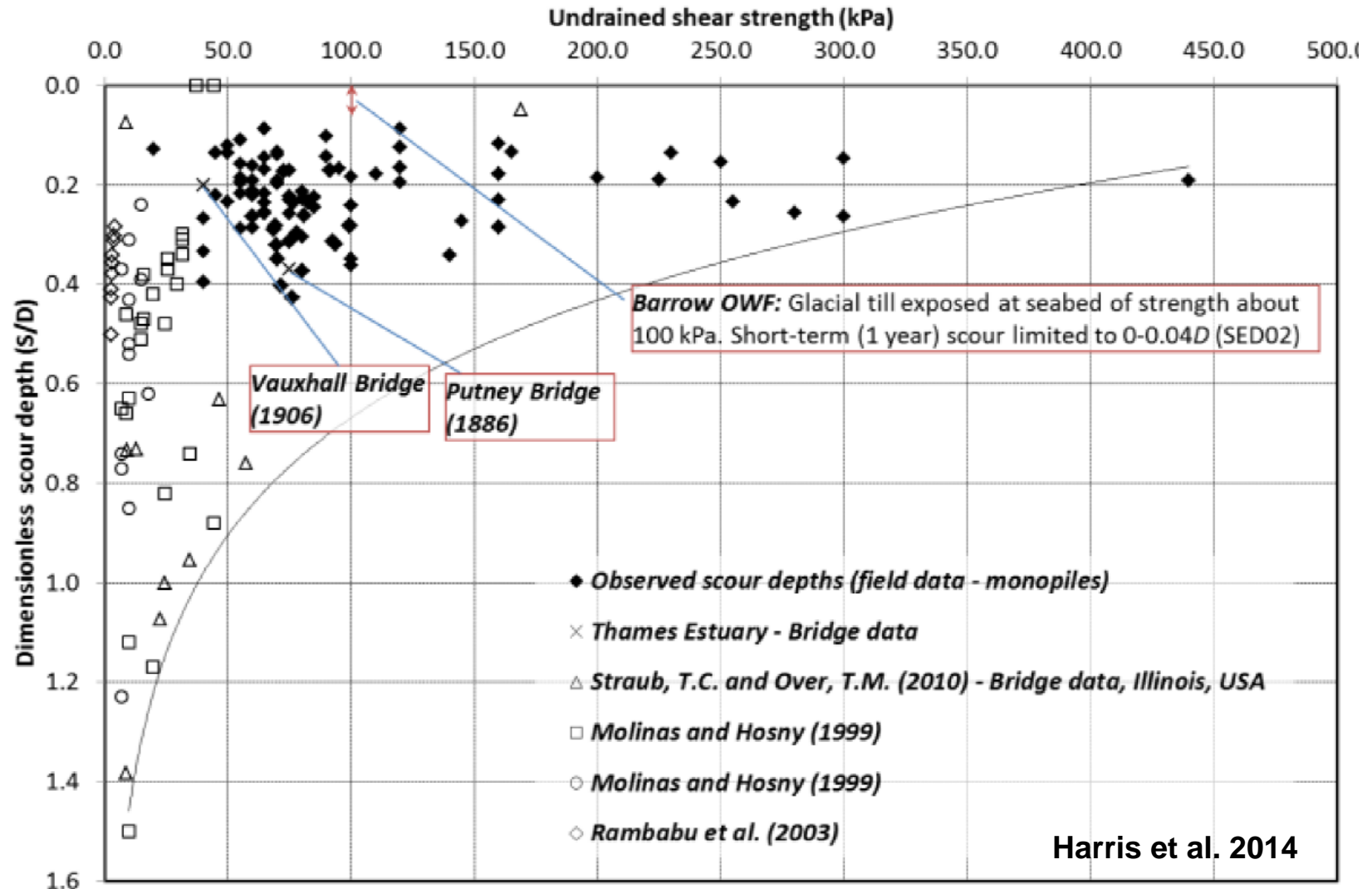


Welleninduzierte Strömung



# Ermittlung der Kolktaiefe

## Was passiert bei bindigem Boden?

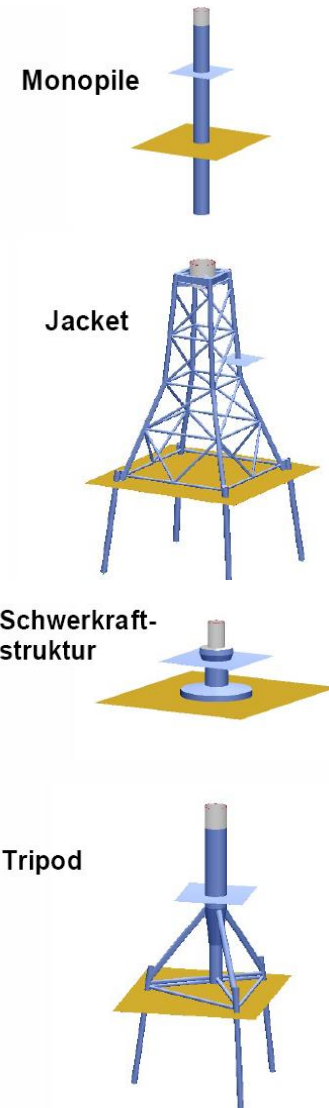
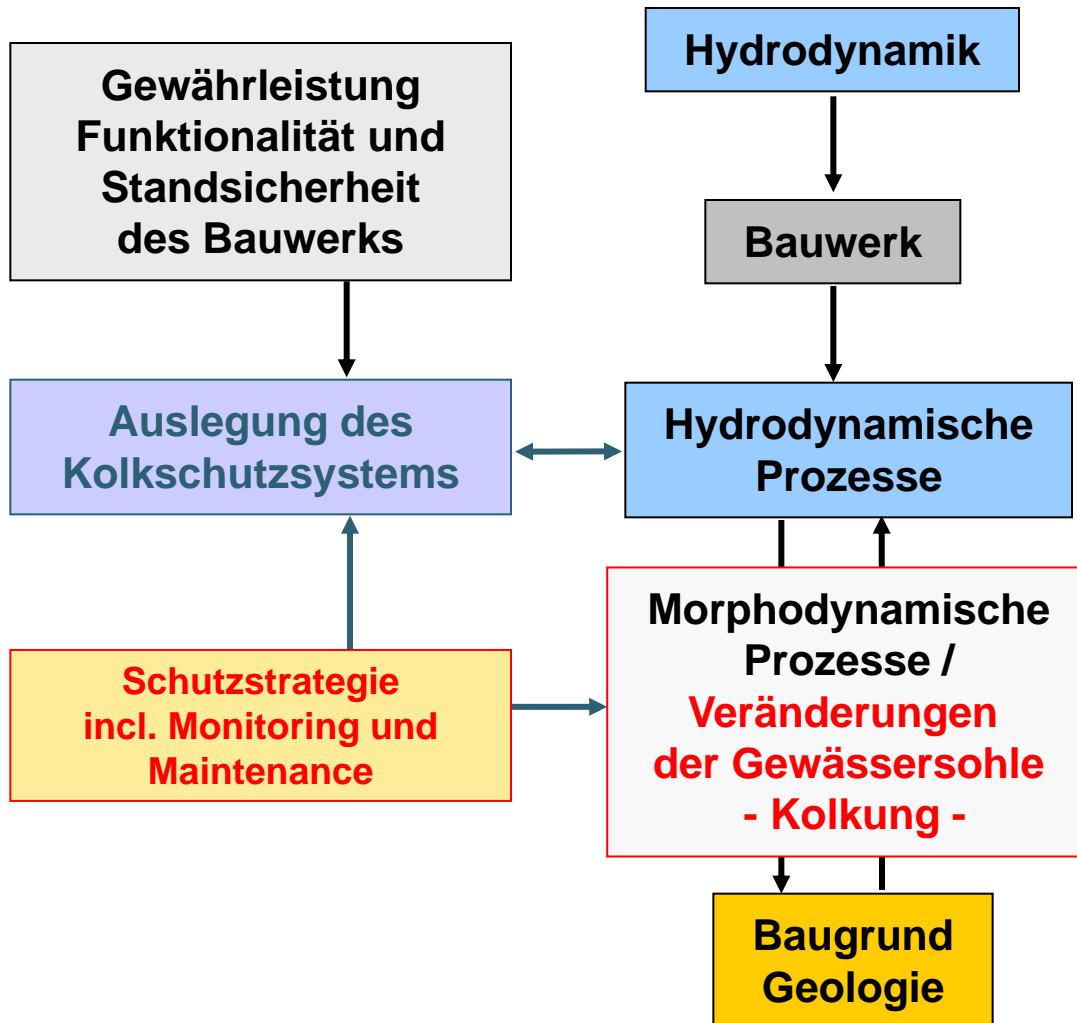




1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
3. Ermittlung der Kolktiefe
- 4. Kolkenschutzstrategien**
5. Design und Auslegung des Kolk schutzes
6. Bauverfahren und Logistik
7. Monitoring und Maintenance
8. Ausführungsvarianten des Kolk schutzes
9. Kolk und Kolk schutz an Offshore-Gründungen
- 10. Zusammenfassung**

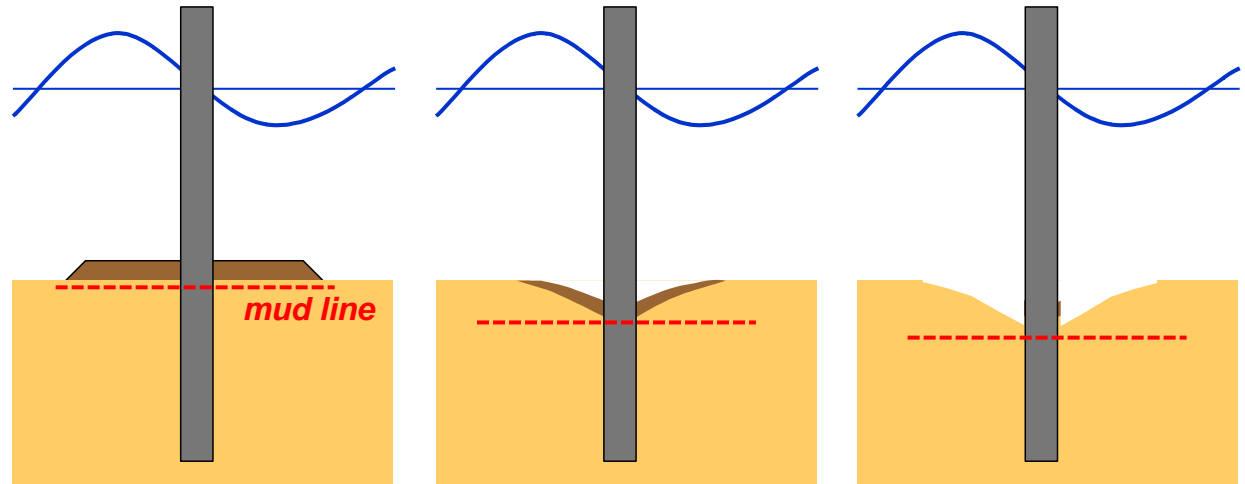
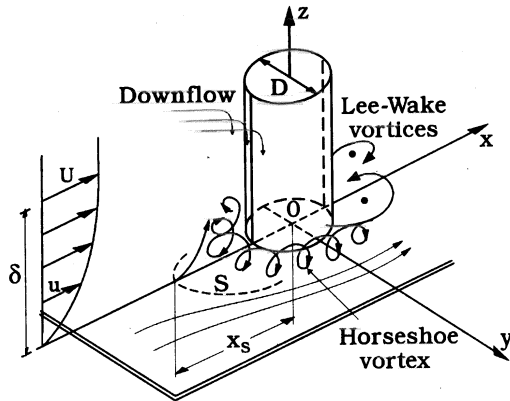
# Kolkschutzstrategien

## Ableitung von Schutzmaßnahmen



# Kolkschutzstrategien

allgemein am Beispiel eines Gründungspfahles (Tiefgründung)



## Einflussfaktoren:

- **Hydraulische Belastung**
- **Interaktion Hydraulik / Bauwerk**
- **Bauwerksbemessung** (Wo liegt die *mud line*?)
- **Baugrund**
- **Baubetrieb / Bauzustände**
- **Kosten**

**sofortiger  
Kolkschutz**

- maximale Schubspannungen
- maximale Steingrößen für Deckschicht

**nachlaufender  
Kolkschutz**

- reduzierte Schubspannungen
- verringerte Steingrößen möglich

**Verzicht auf  
Kolkschutz**

Erforderl. Nachweis entsprechend der Richtlinien des Zertifizierers:

- $S/D = 1,3$  (DNV)
- $S/D = 2,5$  (GL)

**Nachweise  
erforderlich**

# Kolkschutzstrategien

mit mineralischer Kolkschutz (bei sofortigem Kolkschutz)

## Erosionsgefahr Einbauverfahren !

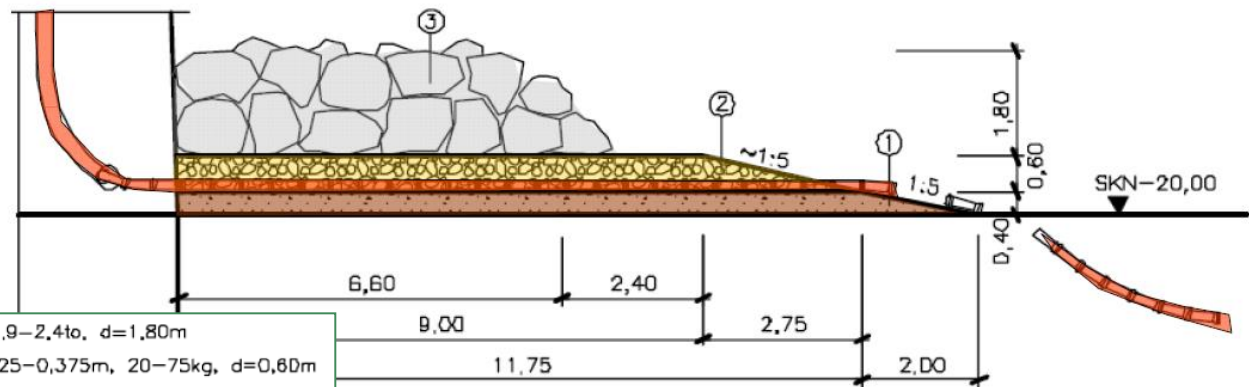
### Anforderungen:

- Lagestabilität im Bau- und Endzustand
- Filterwirksamkeit
- Definition der zulässigen Erosionsempfindlichkeit
- Auslegung des Kolkschutzes
- Kabelführung beachten



### Mineralischer Kolkschutzaufbau:

- Deckschicht
- Filterlagen I / II
- Boden



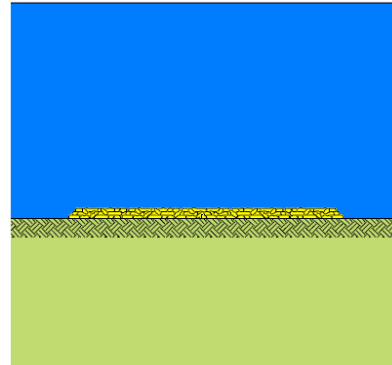
Deckschicht	③ Steine $\rho = 2,7t/m^3$ , 1,1–1,2m, 1,9–2,4t, d=1,80m
Filter	② Wasserbausteine, $\rho = 2,7t/m^3$ , D,25–0,375m, 20–75kg, d=0,60m
	① Mischkornfilter 2/150mm, $\rho = 2,7t/m^3$ , d=0,40m

# Kolkschutzstrategien

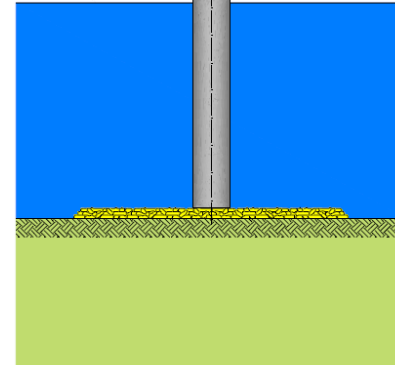
mit geotextilem Kolkschutz aus Sandcontainer (VSC)

## Anforderungen an VSC:

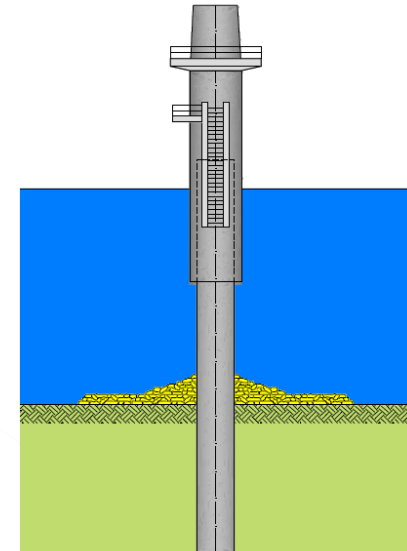
- Lagestabilität
- Abrieb
- UV-Beständigkeit
- Filterwirksamkeit
- Nahtfestigkeit
- Robustheit im Bauzustand
- Dehn-/Zugfestigkeit
- Durchrammbarkeit



Sandcontainer SoftRock, unregelmäßig angeordnet



Absetzen des Monopiles auf dem Kolkschutz



Rammen des Monopiles durch den installierten Kolkschutz und Nachprofilierung

## Bauzustand:

- maximale Belastungen der VSC während Herstellung, Transport und Verlegearbeiten

## Endzustand:

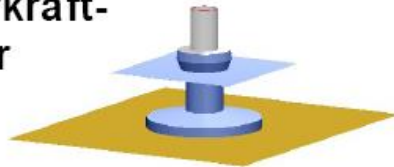
- Lagestabilität
- Abrieb
- Filterwirksamkeit



# Kolkschutzstrategien

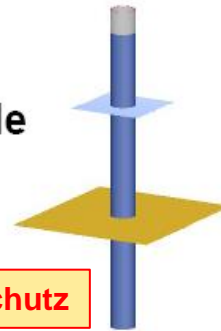
abhängig von der Gründungsstruktur  
bei beweglicher Sohle

Schwerkraft-  
struktur



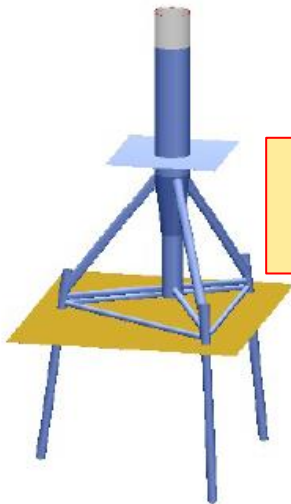
mit Kolkschutz

Monopile



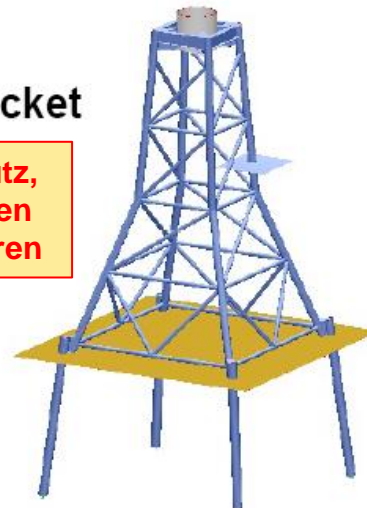
mit Kolkschutz

Tripod



ohne Kolkschutz,  
ggf. lokal an den  
Gründungsrohren

Jacket



ohne Kolkschutz

Tripile

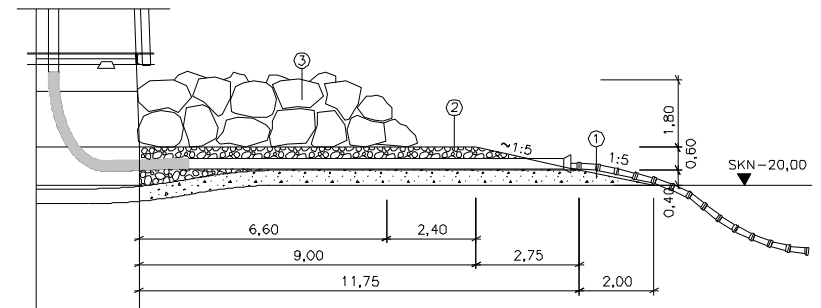
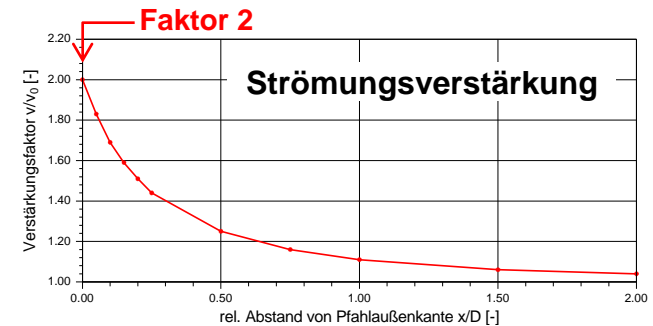
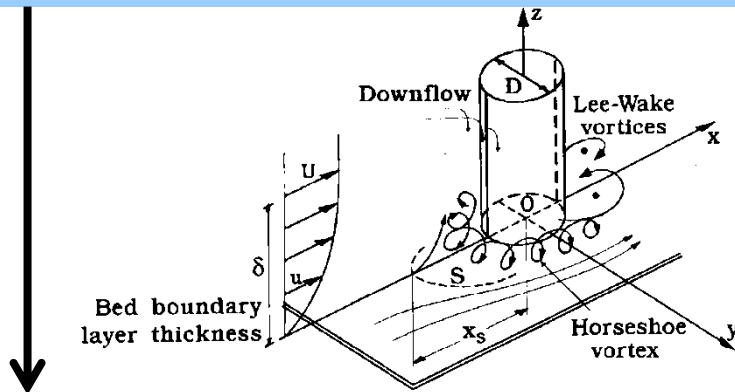
1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
3. Ermittlung der Kolktiefe
4. Kolkenschutzstrategien
- 5. Design und Auslegung des Kolk schutzes**
6. Bauverfahren und Logistik
7. Monitoring und Maintenance
8. Ausführungsvarianten des Kolk schutzes
9. Kolk und Kolk schutz an Offshore-Gründungen
- 10. Zusammenfassung**

# Design und Auslegung des Kolksschutzes

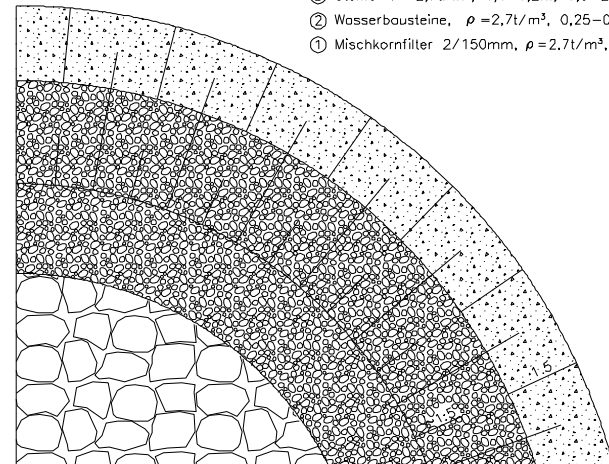
## Grundprinzipien

### Hydraulische Belastungen

- Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten (bis Faktor 2)
- Erhöhung der Schubspannungen (bis Faktor 4)



- ③ Steine  $\rho = 2,7 \text{ t/m}^3$ , 1,1–1,2m, 1,9–2,4m,  $d = 1,80 \text{ m}$
- ② Wasserbausteine,  $\rho = 2,7 \text{ t/m}^3$ , 0,25–0,375m, 20–75kg,  $d = 0,60 \text{ m}$
- ① Mischkornfilter 2/150mm,  $\rho = 2,7 \text{ t/m}^3$ ,  $d = 0,40 \text{ m}$



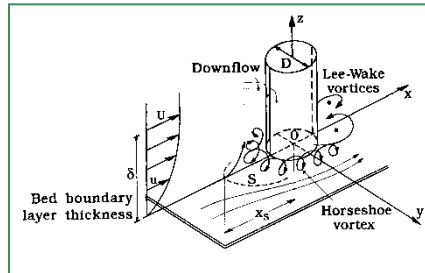
### Kolksschutz

- Einzelelemente (Steine/Sandcontainer) mit ausreichendem Gewicht
- Verbundwirkung von Einzelobjekten Verklammerung – geringe Flexibilität
- Verfelsung / Vereisung
- Sonderformen



# Design und Auslegung des Kolksschutzes

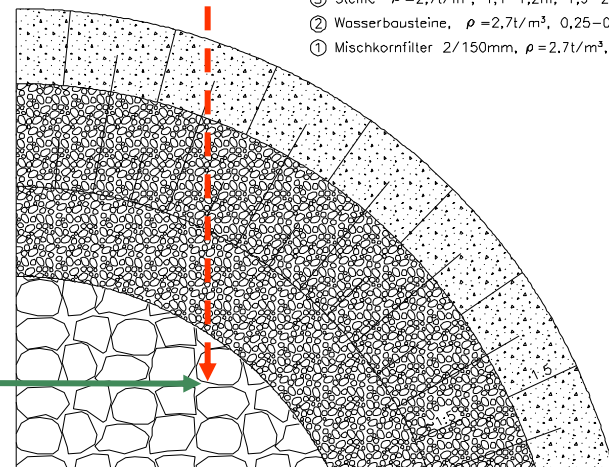
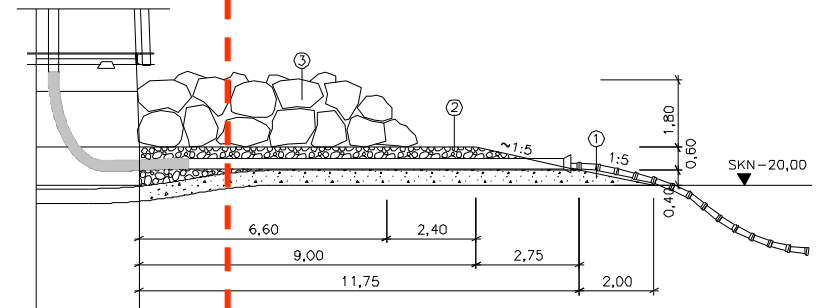
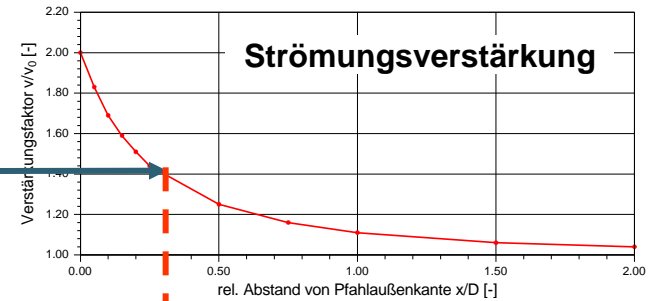
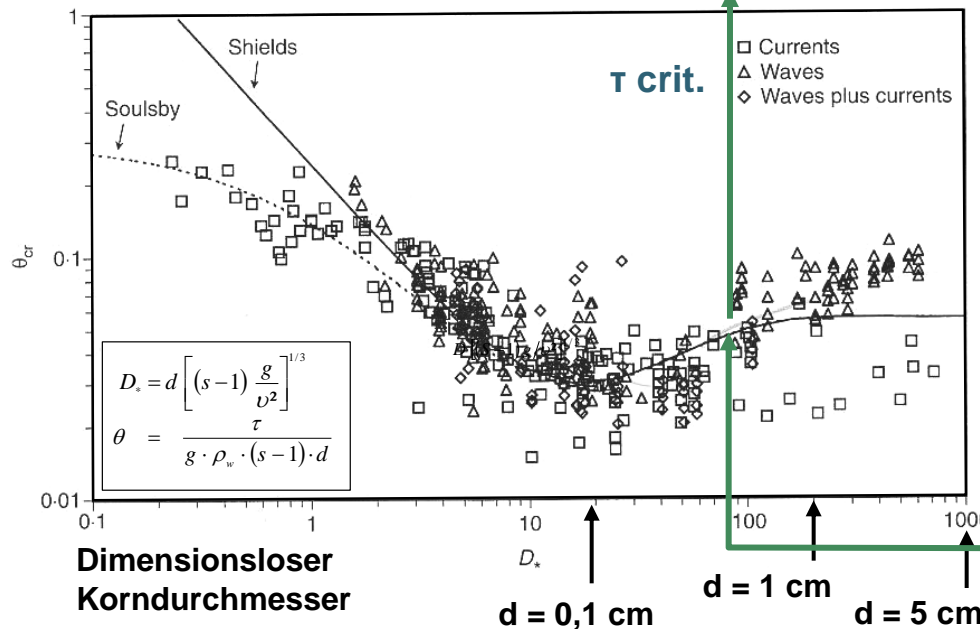
## Gründungsstruktur mit mineralischem Kolksschutz



Hydraulische Belastungen

$\tau$  vorh.

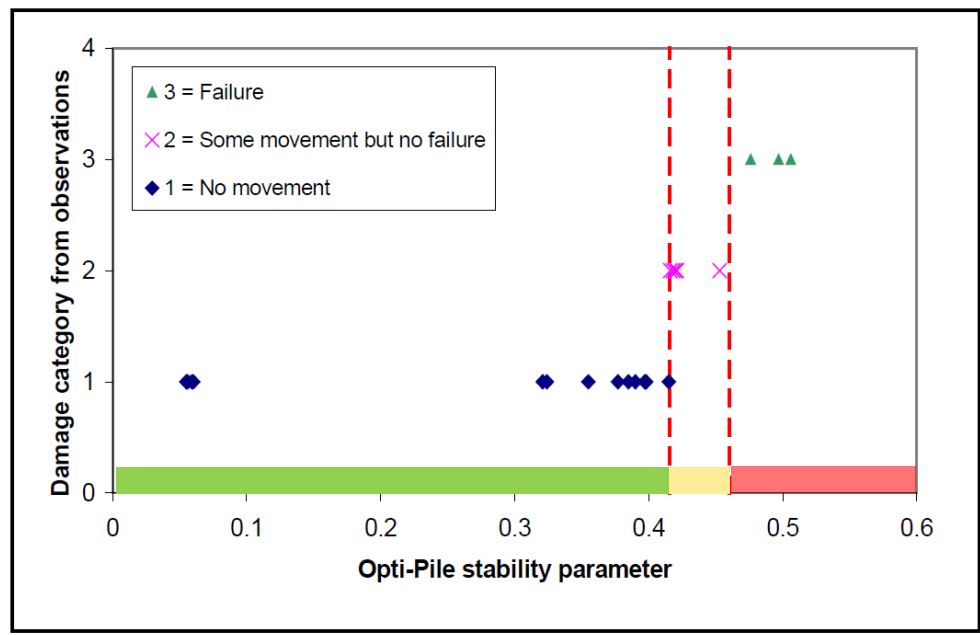
Bemessung des Steinmaterials mittels Shields-Konzept



# Design und Auslegung des Kolksschutzes

## Gründungsstruktur mit mineralischem Kolksschutz

- Einteilung in Stabilitätsklassen
- $Stab = \frac{\text{max. Schubspannung}}{\text{kritische Schubspannung}}$



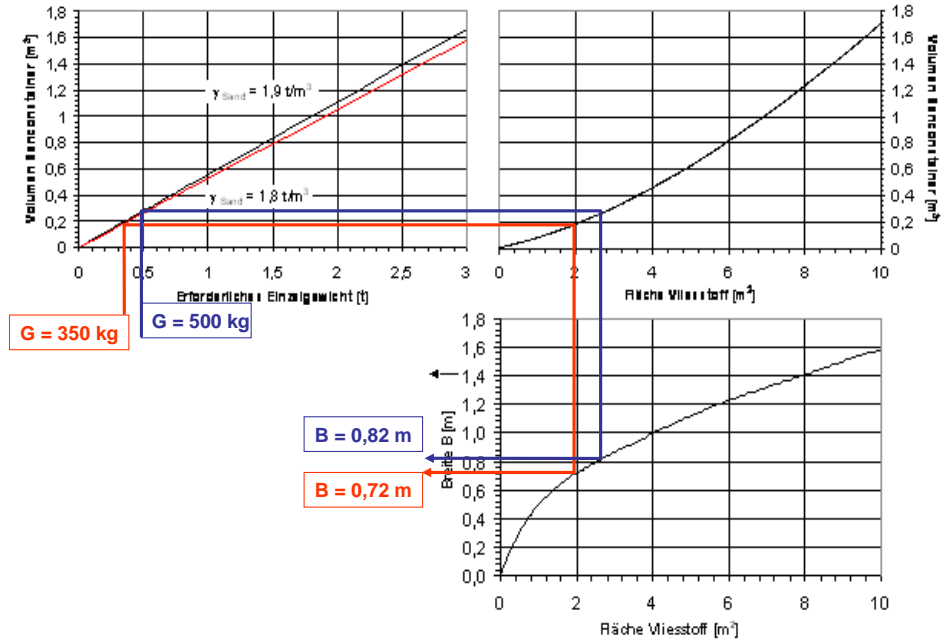
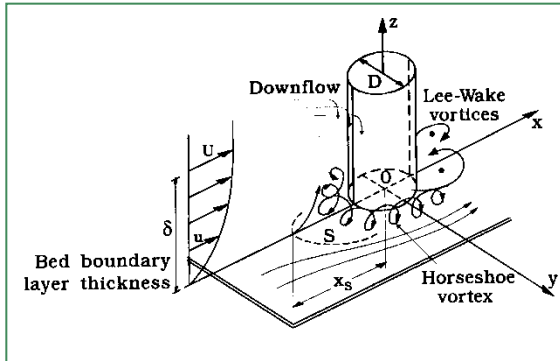
Stability Classes		
No movement at all	<	0.415
Some movement	<	0.460
Significant movement	≥	0.460

den Boon et al., 2004

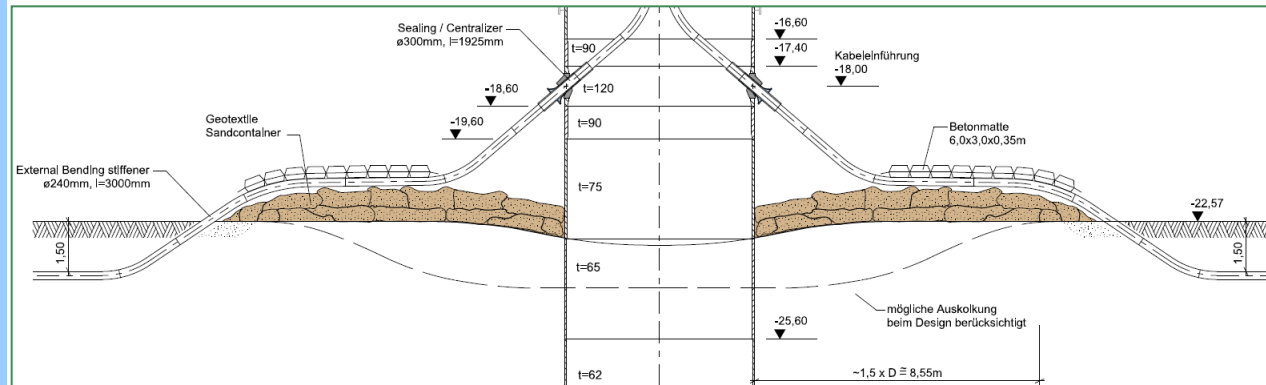
Figure 7. Damage category determined from model test photos and profiles against Opti-Pile stability parameter,  $Stab$ . Vertical lines are the values of  $Stab_{1,2} = 0.415$  and  $Stab_{2,3} = 0.460$  determined from the tests.

# Design und Auslegung des Kolkschutzes

## Gründungsstruktur mit geotextilem Kolkschutz (hier VSC)



- Ermittlung maßgebender hydraulischer Belastungen
- Ermittlung der maßgebenden Steingröße
- Ableitung des erforderl. Gewichtes für einen Sandcontainer (VSC)
  - Erfahrung
  - analytischer Ansatz
- geometrische Auslegung des Kolkschutzes



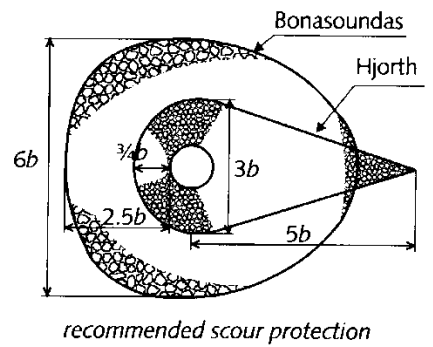
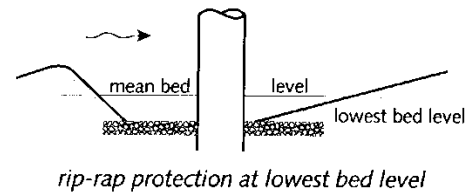
# Design und Auslegung des Kolksschutzes

## Empfehlungen (Auszug)

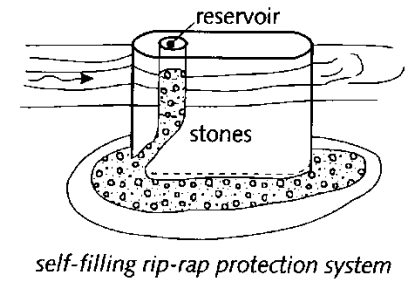
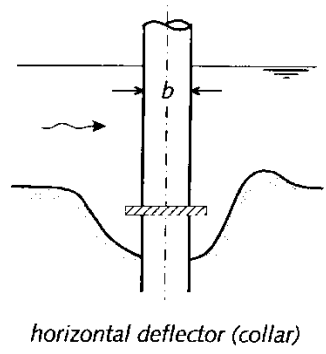
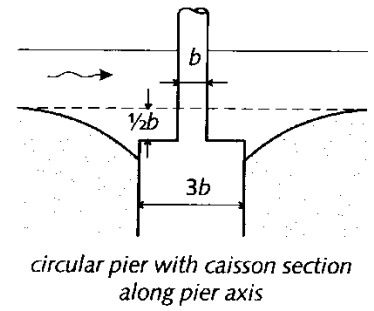
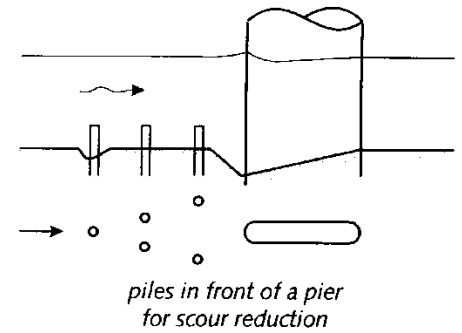
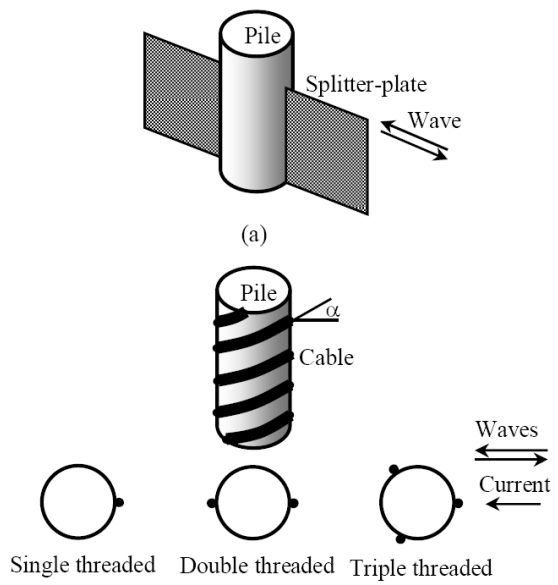
**für den Monopile**

**Whitehouse (1998)**

aus Hoffmans und Verheij (1997)

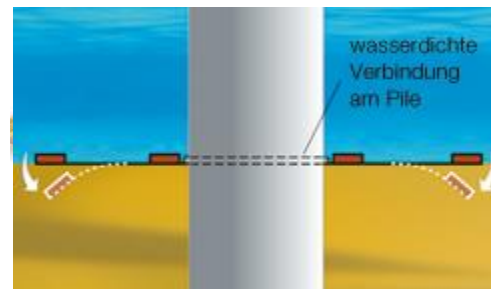
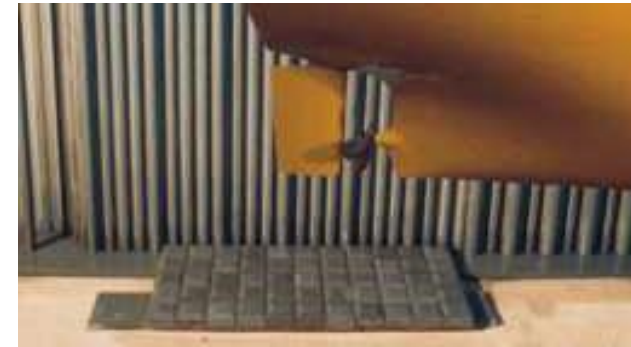
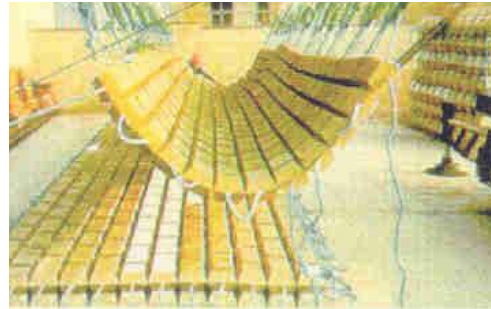


**Dey, Sumer und Fredsøe (2006)**



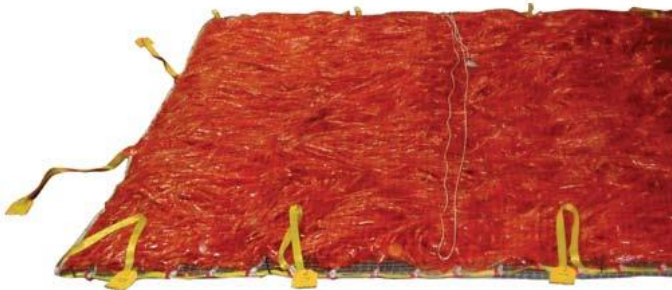
# Design und Auslegung des Kolksschutzes

## Kolkschutzmaterialien I

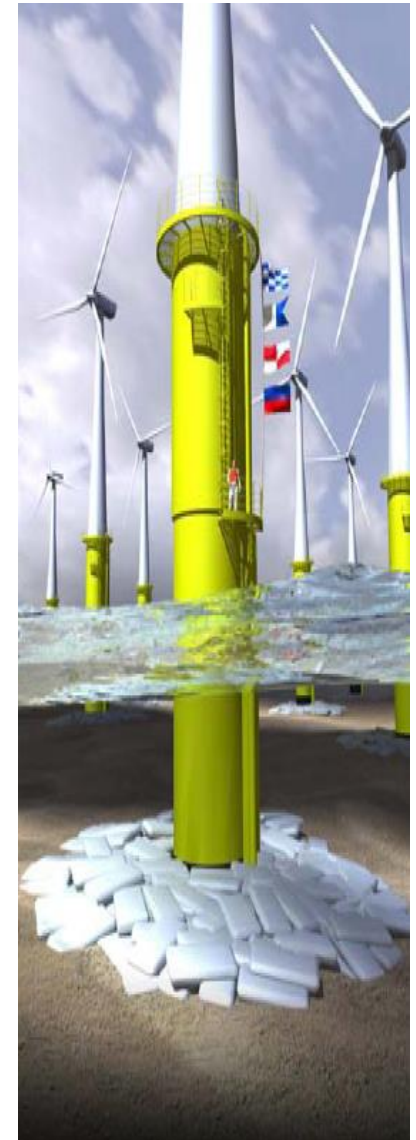


# Design und Auslegung des Kolksschutzes

## Kolkschutzmaterialien II



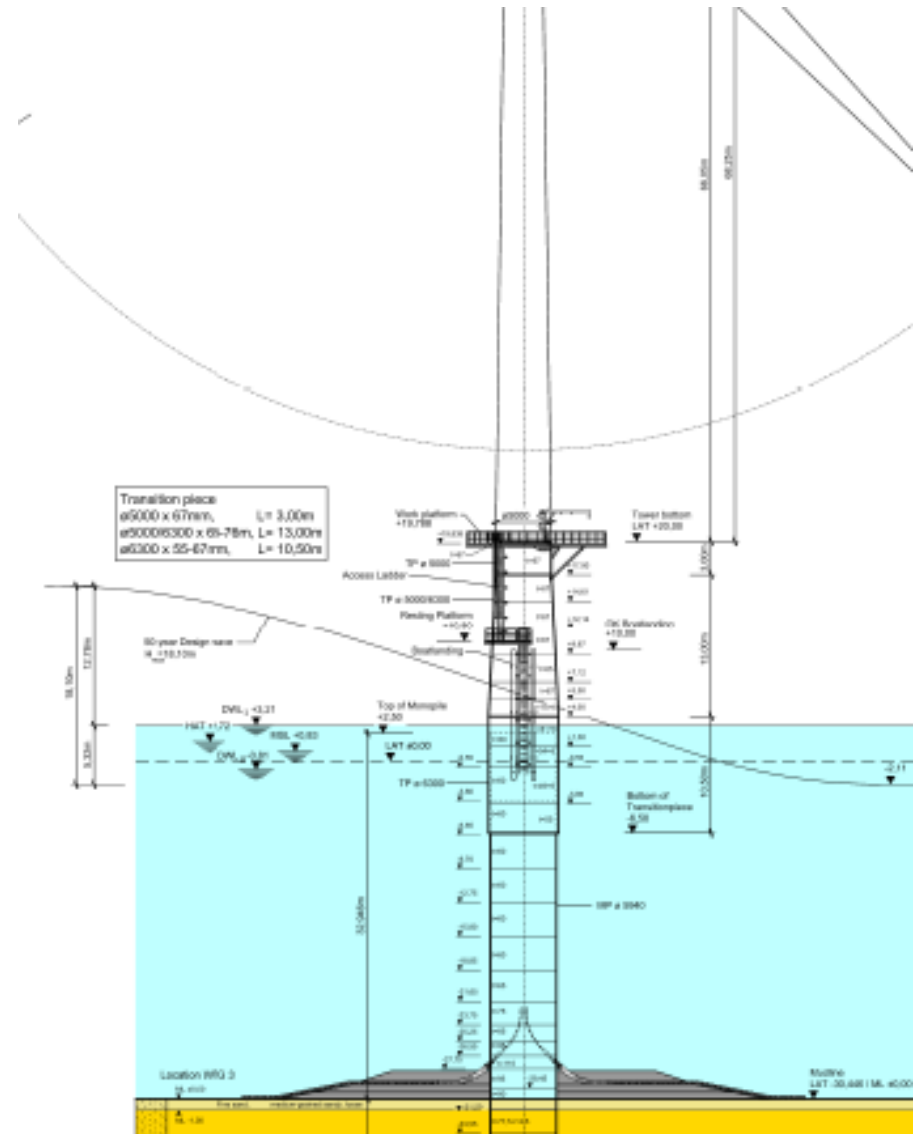
sscsystems



# Design und Auslegung des Kolksschutzes

## Empfehlung

- Design des Kolksschutzes auf Grundlage des Standes des Wissens
- Abstimmung von
  - Kolksschutzstrategie
  - Monitoring
  - Maintenance
- weitere Berücksichtigung von
  - Bauverfahren
  - Baubetrieb
  - Bauzeitenplan



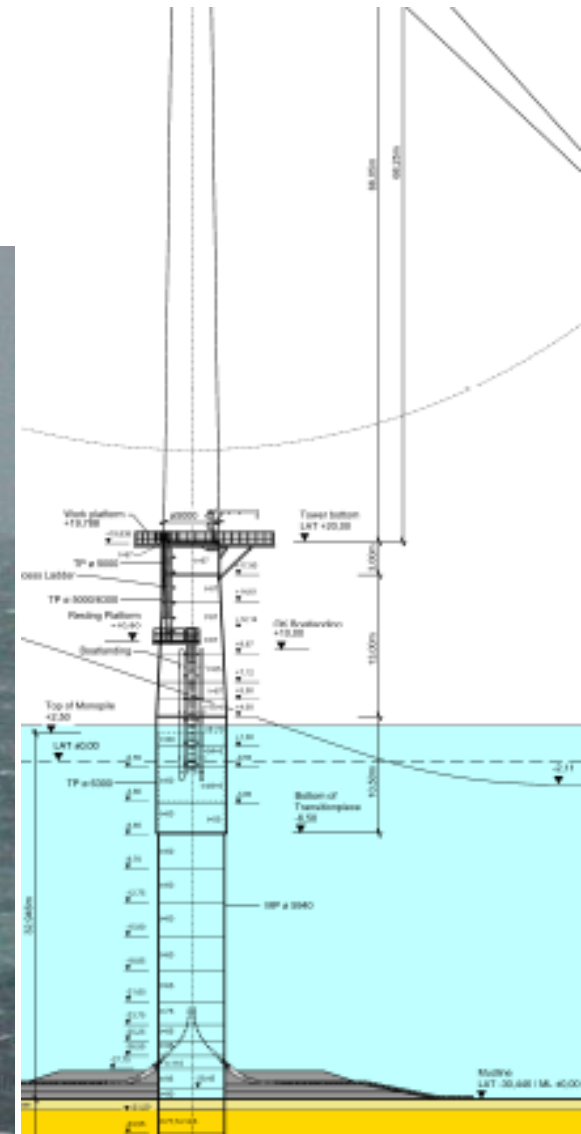
1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
3. Ermittlung der Kolktiefe
4. Kolkenschutzstrategien
5. Design und Auslegung des Kolkenschutzes
- 6. Bauverfahren und Logistik**
7. Monitoring und Maintenance
8. Ausführungsvarianten des Kolkenschutzes
9. Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen
- 10. Zusammenfassung**



# Bauverfahren und Logistik

## Baugeräte und Logistik

Bauverfahren des Kolkschutzes und der Einsatz der Baugeräte ist abhängig von



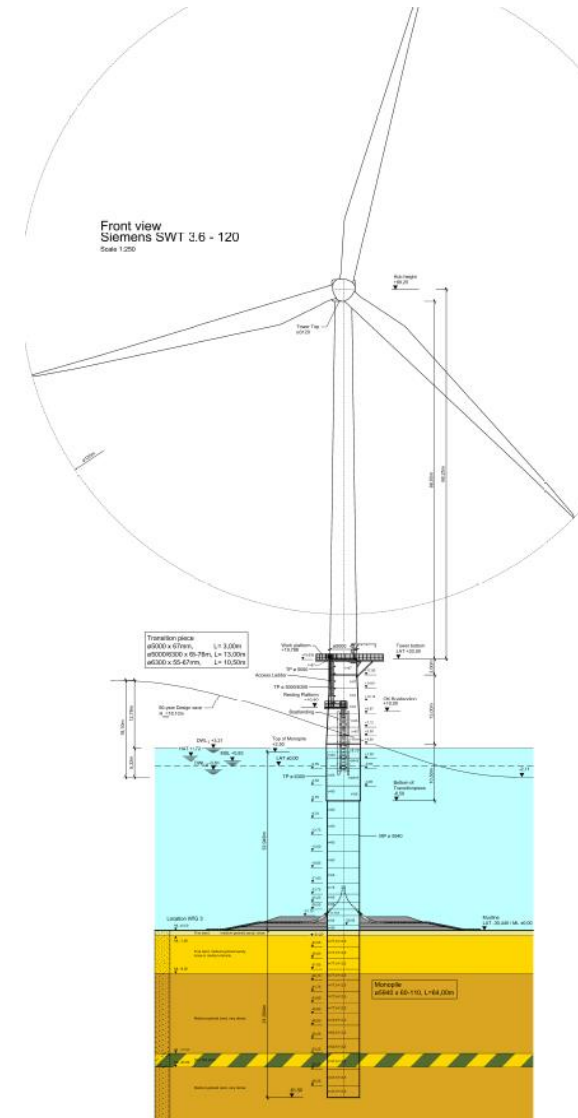
# Bauverfahren und Logistik

Baugeräte und Logistik

Masseneinbau Steinmaterial



Foto: Boskalis



# Bauverfahren und Logistik

## Baugeräte und Logistik



# Bauverfahren und Logistik

Baugeräte und Logistik

Einbau geotextile Sandcontainer

Masseneinbau



Einzeleinbau



1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
3. Ermittlung der Kolktiefe
4. Kolkschutzstrategien
5. Design und Auslegung des Kolkschutzes
6. Bauverfahren und Logistik
- 7. Monitoring und Maintenance**
8. Ausführungsvarianten des Kolkschutzes
9. Kolk und Kolkschutz an Offshore-Gründungen
- 10. Zusammenfassung**

# Monitoring und Maintenance

## Empfehlungen

### Kolkschutzkonzept – Monitoring – Maintenance

**Kolkschutzkonzept konservativ -> erf. Aufwand: gering**

**Kolkschutzkonzept mit Mobilität -> erf. Aufwand: höher / hoch**

- **Großräumiger Survey der Gewässersohle und des Kolkschutzes**
- **Definition von Messintervallen und Bereichen**
- **Analyse hinsichtlich globaler und lokaler morphologischer Veränderungen**
- **Bewertung der Kolkschutzstabilität**
- **Ableitung möglicher Maßnahmen (Maintenance) zur Ertüchtigung des Kolkschutzes**
- **Durchführung begleitender Strömungs- und Seegangsmessungen**



# Monitoring und Maintenance Empfehlungen

## Monitoringprogramm (Beispiel) nach Fertigstellung

### 0 – 1 Jahre

- Halbjährliche Vermessung (lokal und global)
- nach einzelnen Sturmereignissen

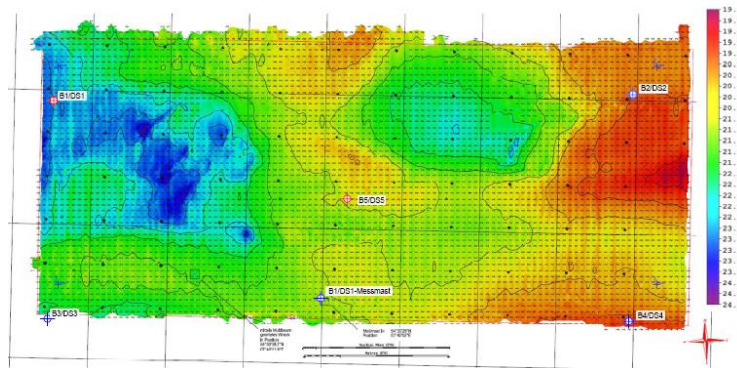
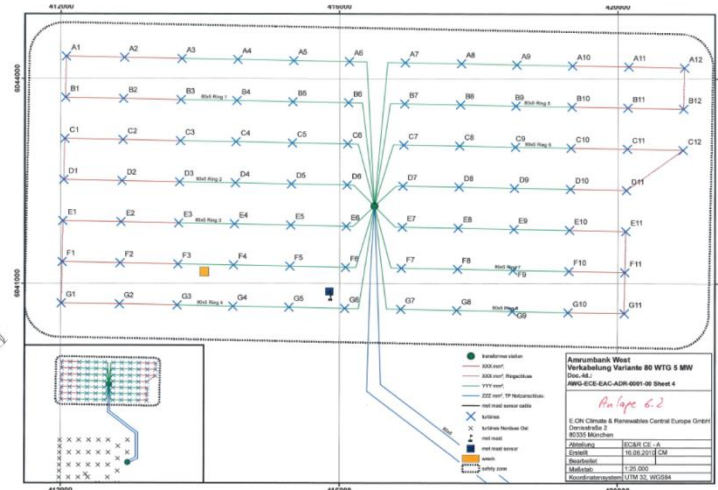
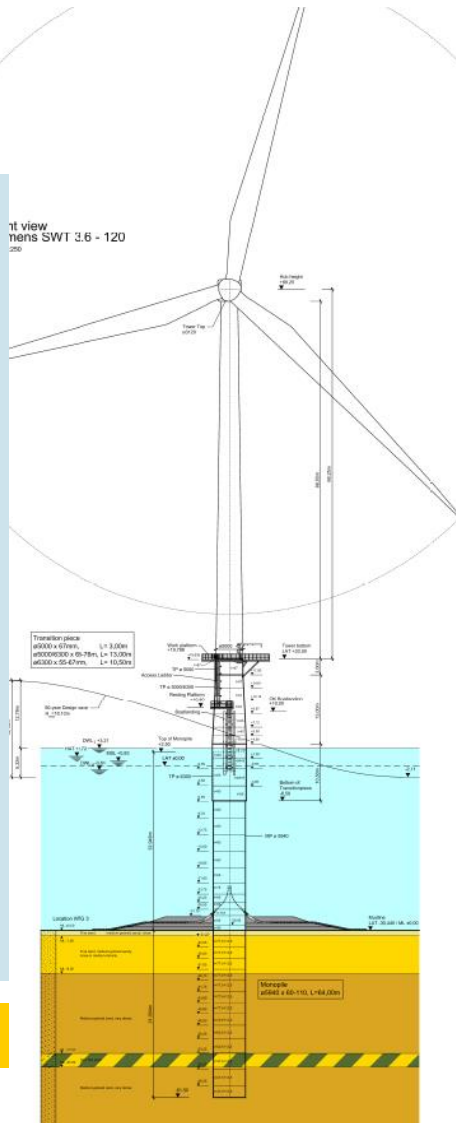
### 1 – 3 Jahre

- Jährliche Vermessung (lokal und global)

### > 3 Jahre

- Auswahl einzelner Fundamente
- Jährliche Vermessung einzelner Lokationen
- Vermessung aller Lokationen (lokal) alle 5 Jahre
- Globale Vermessung alle 5 Jahre

## Maintenance nach Bedarf



1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
3. Ermittlung der Kolktiefe
4. Kolkenschutzstrategien
5. Design und Auslegung des Kolkenschutzes
6. Bauverfahren und Logistik
7. Monitoring und Maintenance
- 8. Ausführungsvarianten des Kolkenschutzes**
9. Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen
- 10. Zusammenfassung**

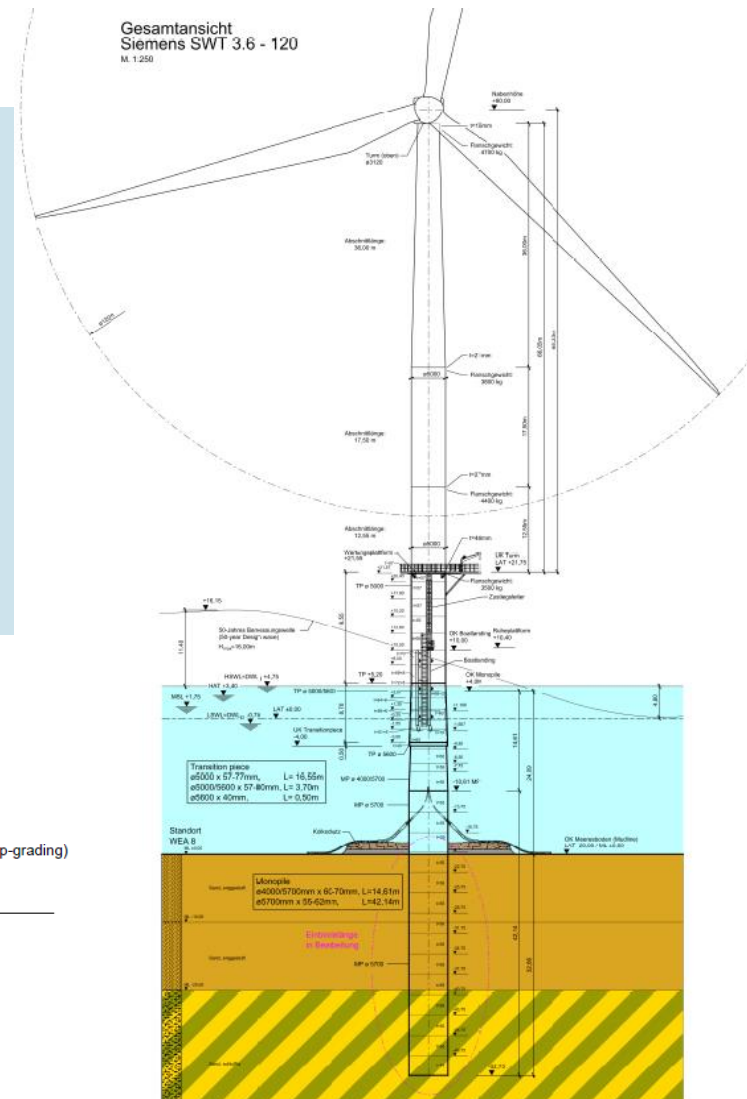
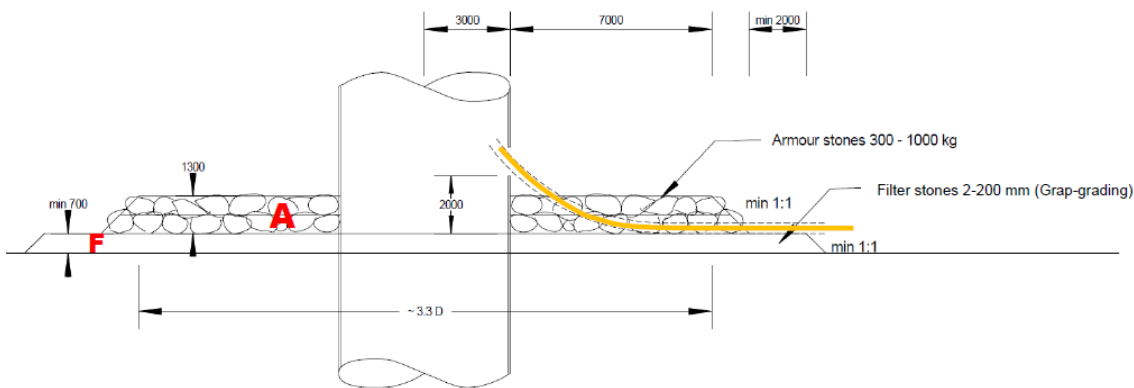


# Ausführung des Kolksschutzes

## Ausführungsvariante – mineralischer Kolksschutz

### Hinweise zum mineralischen Kolksschutz

- i.d.R. zweilagiger Aufbau (Filter + Deckschicht)
- Filterlage temporär lagestabil
- komplexer Bauablauf (mehrfaches Anfahren an der Einzellokation)
- vergleichsweise große Bauhöhe
- hoher Materialeinsatz
- hohe Erosionsstabilität

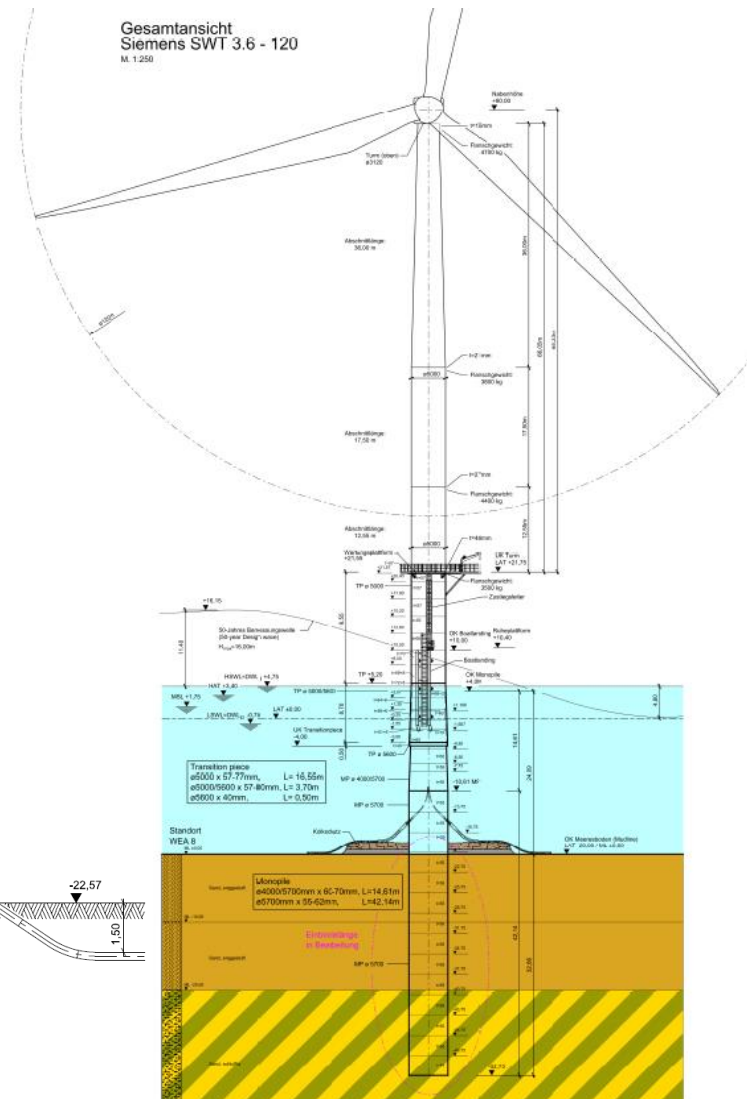
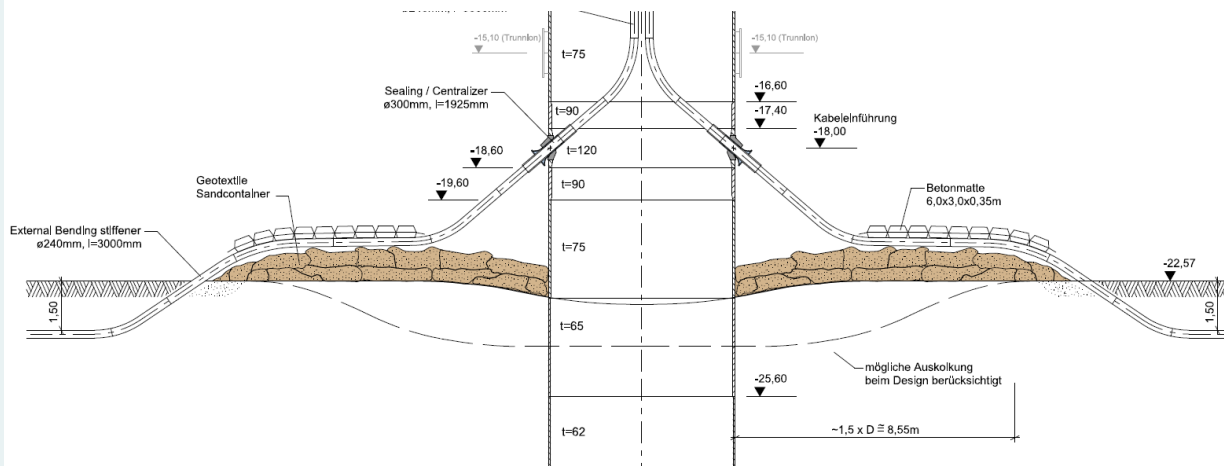


# Ausführung des Kolkschutzes

## Ausführungsvariante – geotextile Sandcontainer

### Vorteile mit geotextilen Sandcontainern

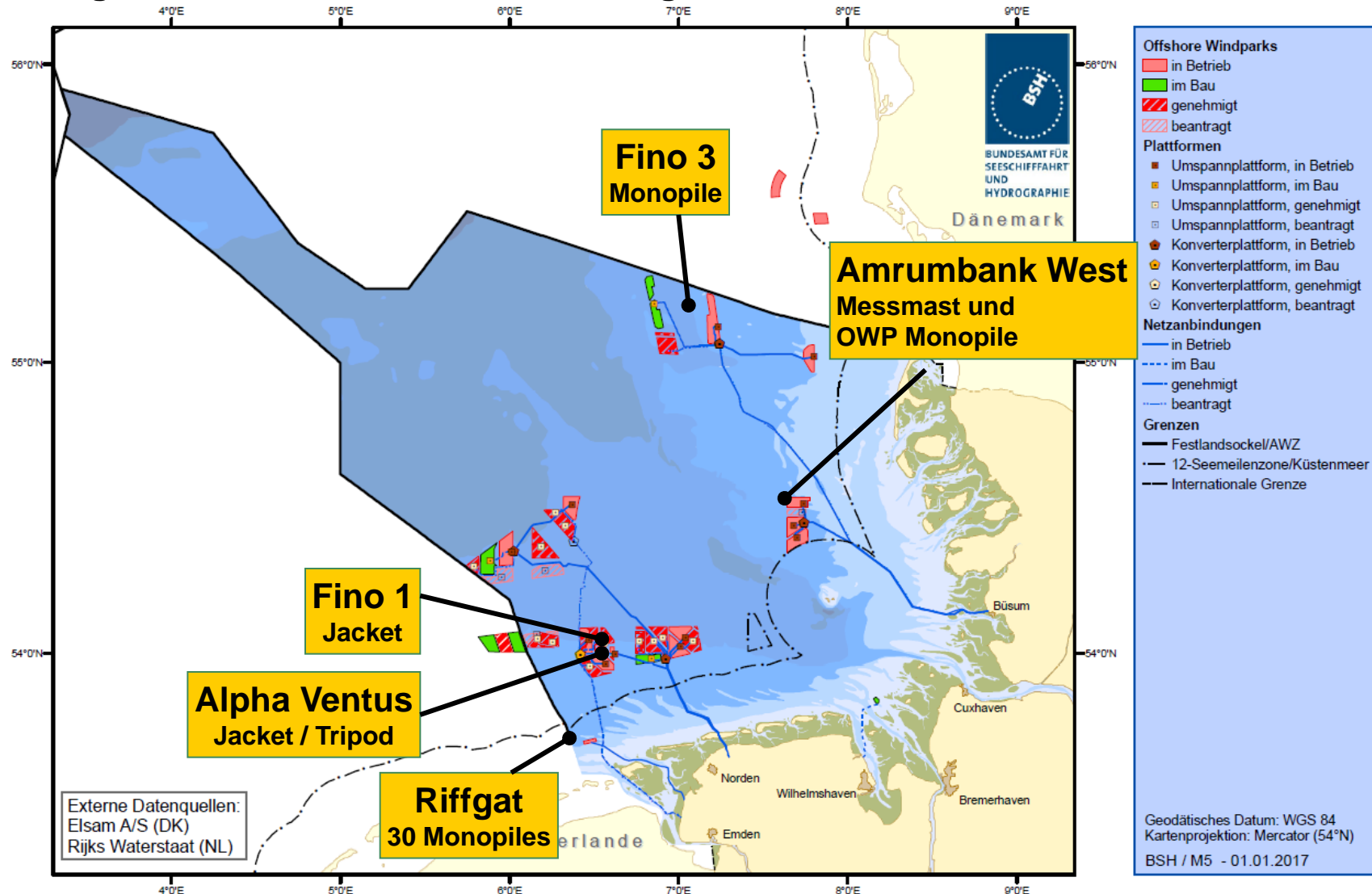
- Kombinierte Filter- und Deckschicht
- Einfache Herstellung des Kolkschutzes
- Vereinfachung des Bauablaufes
- Durchrammbarkeit
- Schutz der Gründungsstruktur
- Geringe Bauhöhe
- Hohe Erosionsstabilität
- Flexible Anpassung



1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
3. Ermittlung der Kolktiefe
4. Kolkenschutzstrategien
5. Design und Auslegung des Kolk schutzes
6. Bauverfahren und Logistik
7. Monitoring und Maintenance
8. Ausführungsvarianten des Kolk schutzes
- 9. Kolk und Kolk schutz an Offshore-Gründungen**
10. Zusammenfassung

# Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

## Erfahrungen im Bereich Offshore-Windenergie in Deutschland

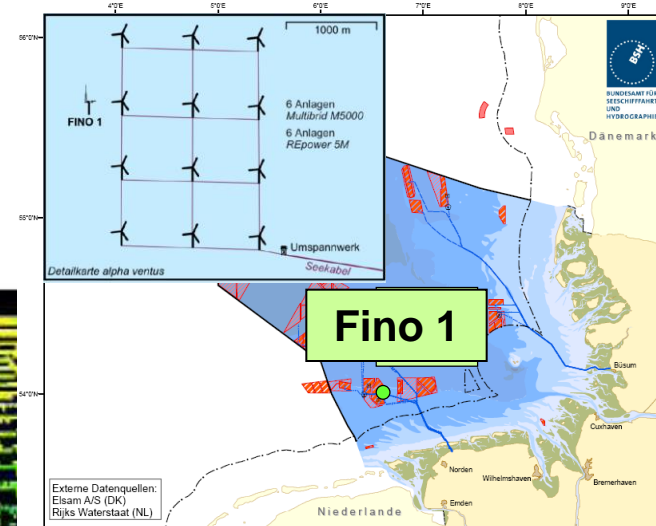
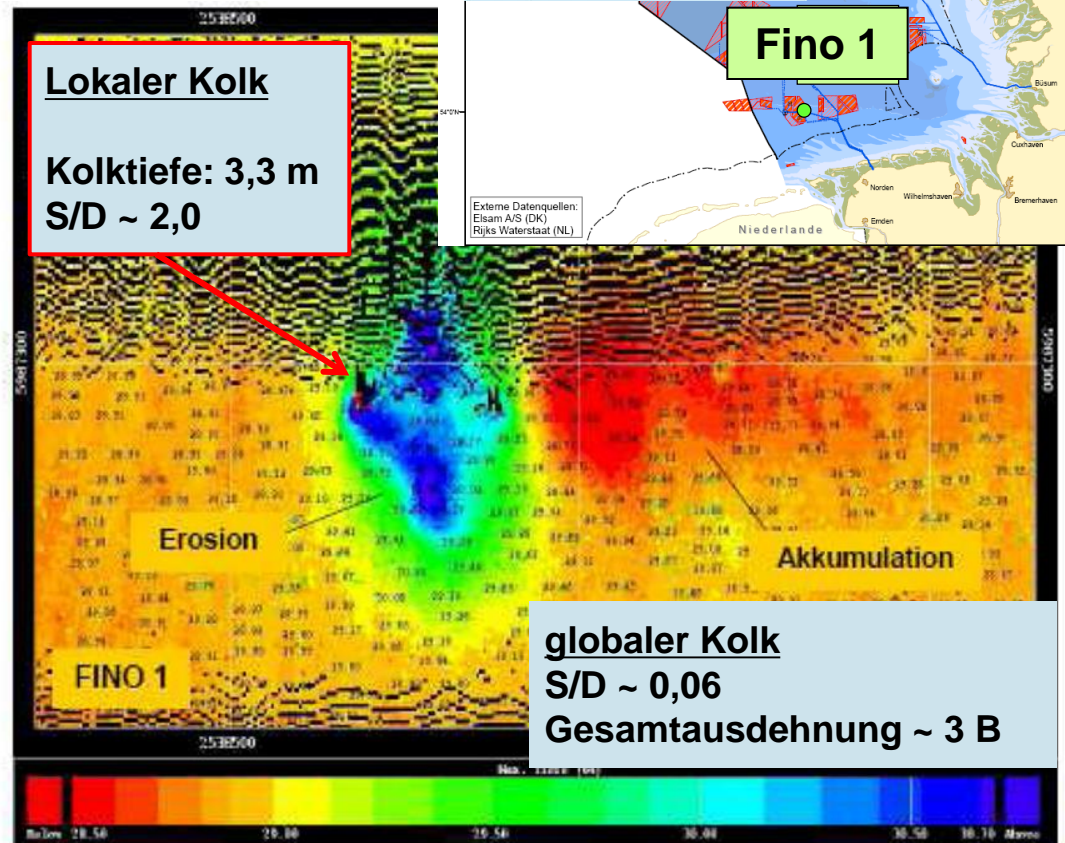
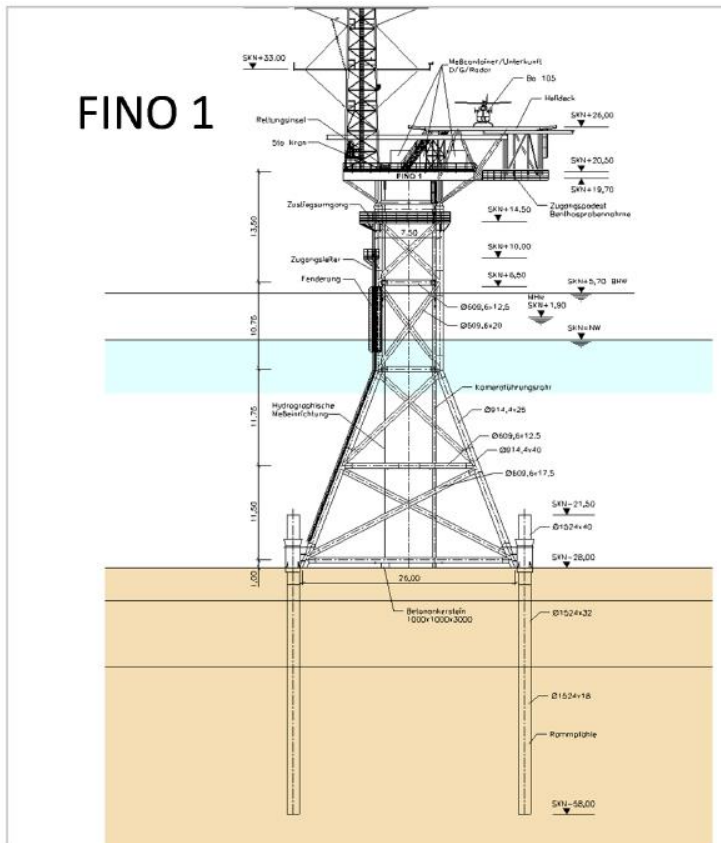


# Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

## Erfahrungen Kolk – Fino 1 - Jacket

### Kenndaten FINO 1

- **Betrieb seit 2003**
- **kein Kolkchutz vorhanden**



# Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

## Erfahrungen Kolk – Alpha Ventus - Jacket

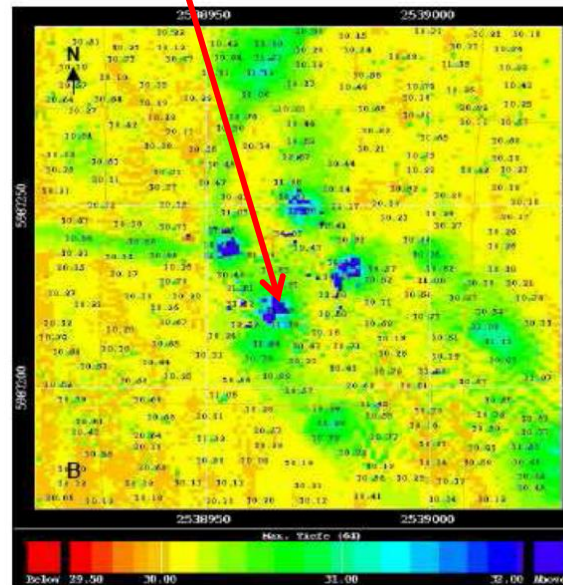
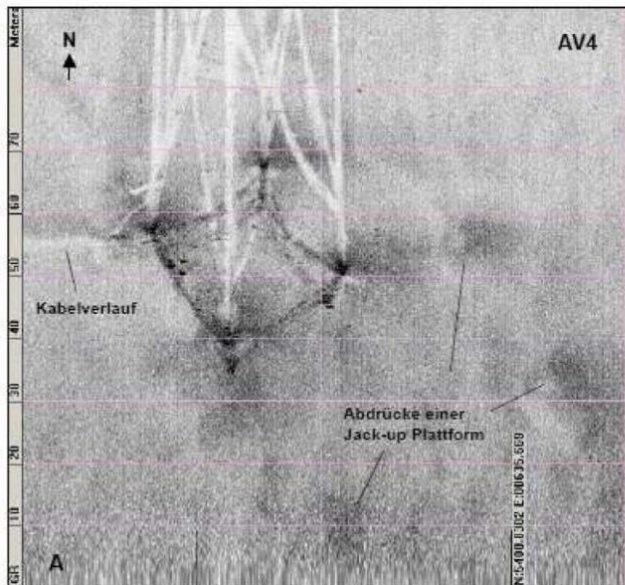
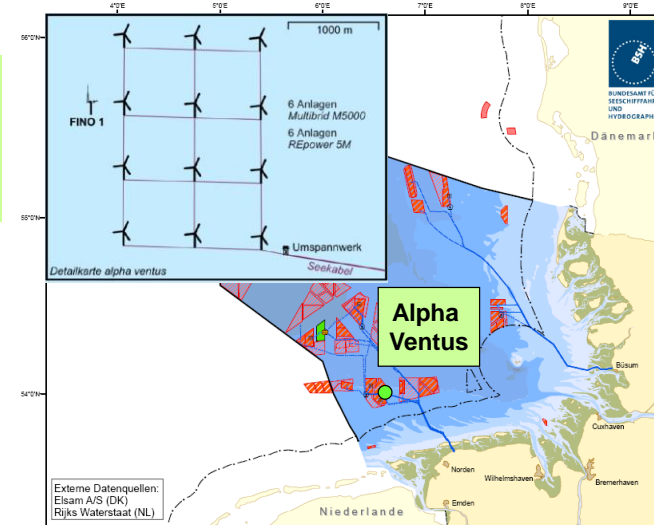


### Kenndaten Windpark Alpha Ventus

- Betrieb seit 2009
- kein Kolkchutz vorhanden

### Jacketstruktur

Kolktiefe: 4,5 m (lokal am südl. Bein)  
S/D ~ 2,5 (lokal)



**Quelle:**  
BSH, Fahrtbericht,  
# Wega 117

# Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

## Erfahrungen Kolk – Alpha Ventus - Tripod

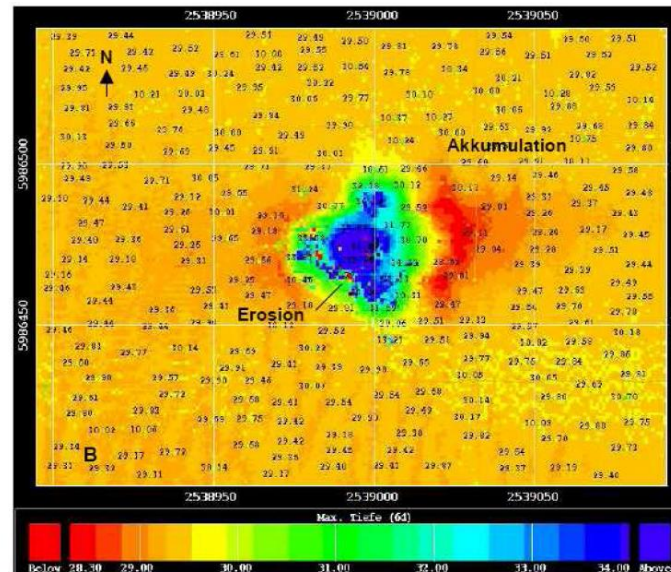
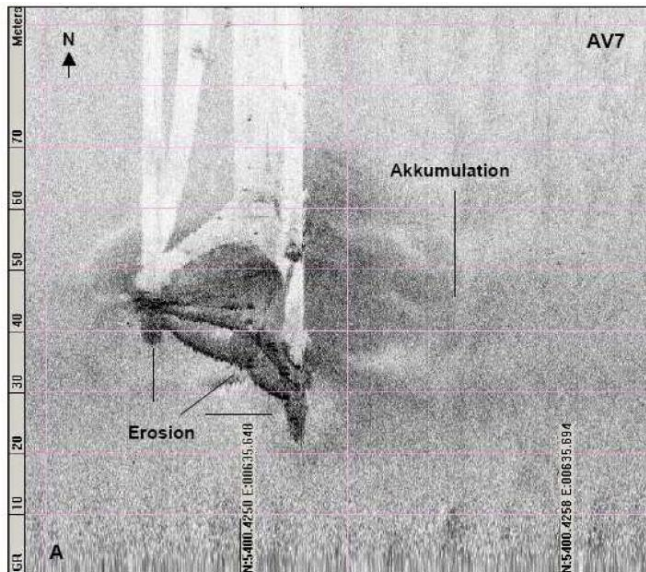
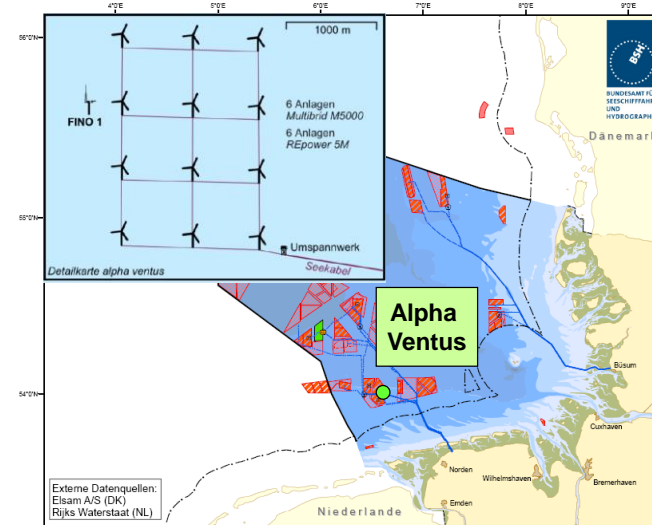


### Kenndaten Windpark Alpha Ventus

- Betrieb seit 2009
- kein Kolkchutz vorhanden

### Tripod

Kolk-tiefe: 2 - 3 m (am Gründungsrohr)  
 6 m (unter Zentralrohr)  
 S/D ~ 1 – 1,5 (am Gründungsrohr)  
 ? (unter Zentralrohr)

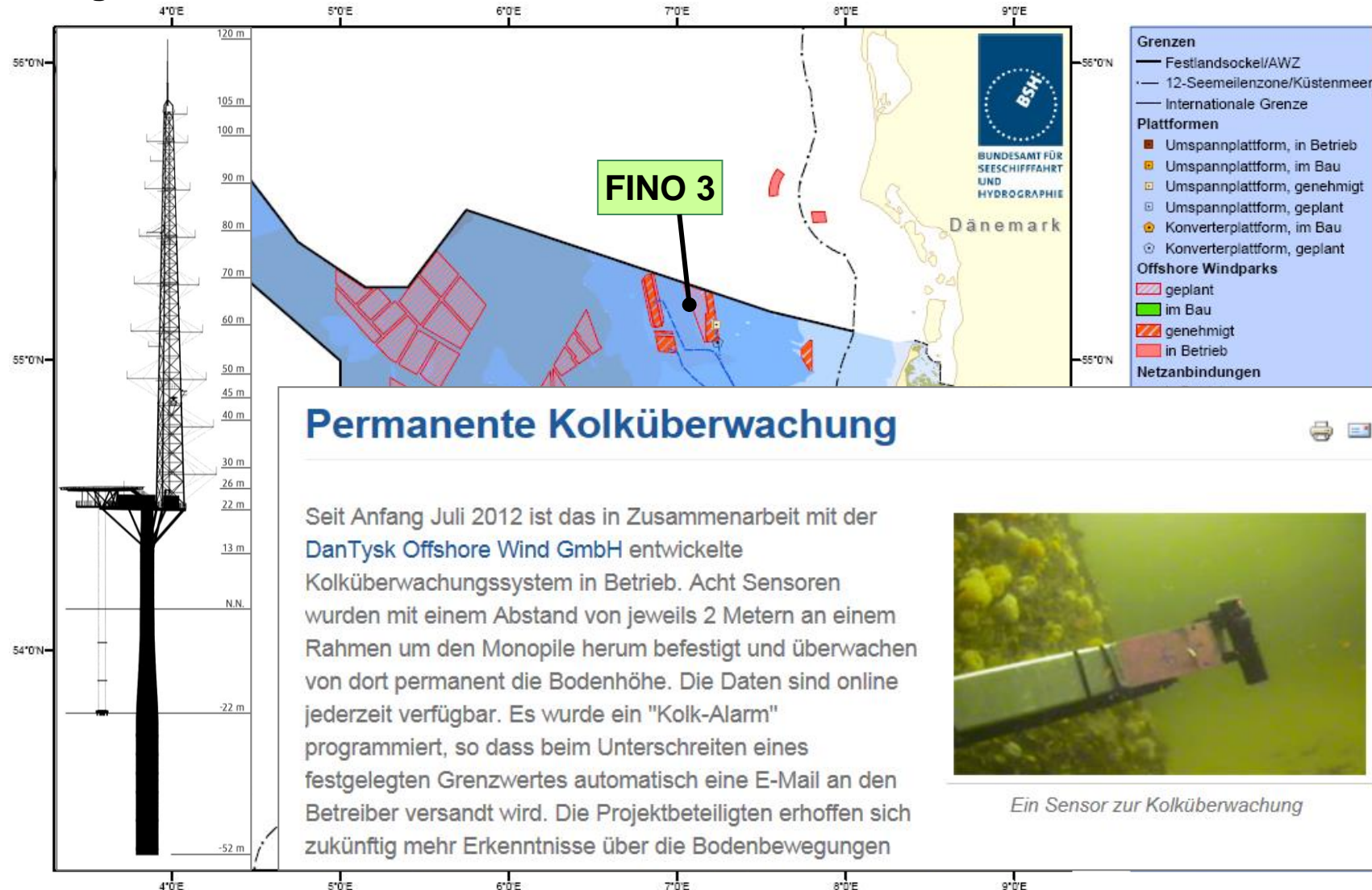


Quelle:

BSH, Fahrtbericht,  
 # Wega 117

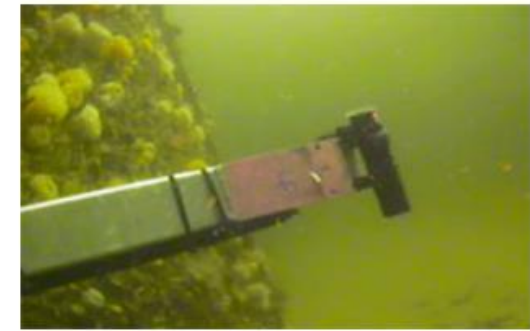
# Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

## Erfahrungen Kolk – FINO 3



### Permanente Kolküberwachung

Seit Anfang Juli 2012 ist das in Zusammenarbeit mit der DanTysk Offshore Wind GmbH entwickelte Kolküberwachungssystem in Betrieb. Acht Sensoren wurden mit einem Abstand von jeweils 2 Metern an einem Rahmen um den Monopile herum befestigt und überwachen von dort permanent die Bodenhöhe. Die Daten sind online jederzeit verfügbar. Es wurde ein "Kolk-Alarm" programmiert, so dass beim Unterschreiten eines festgelegten Grenzwertes automatisch eine E-Mail an den Betreiber versandt wird. Die Projektbeteiligten erhoffen sich zukünftig mehr Erkenntnisse über die Bodenbewegungen



Ein Sensor zur Kolküberwachung

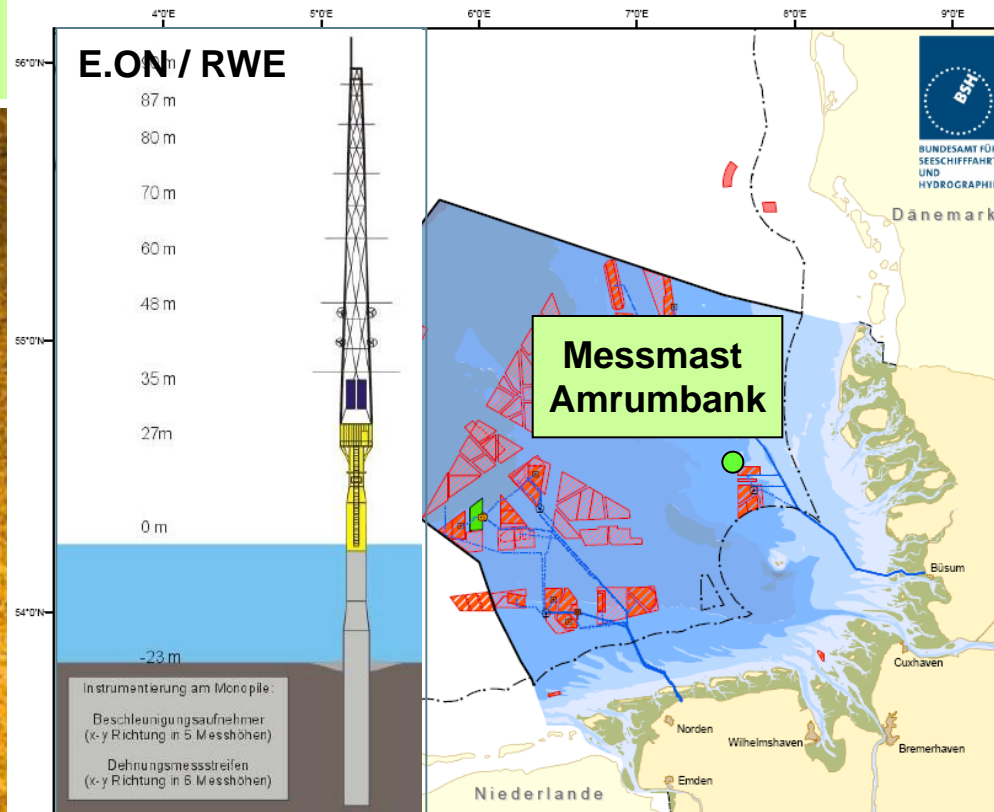
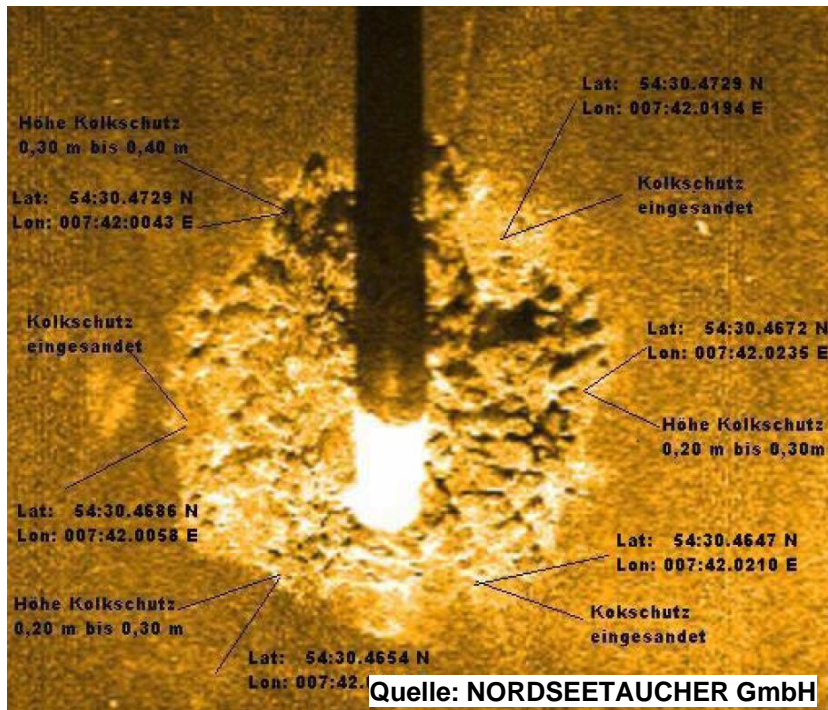


# Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

## Erfahrungen Kolkenschutz – Messmast Amrumbank

### Kenndaten Messmast Amrumbank

- Betrieb seit 04/2005
- 450 Sandcontainer (VSC) /  $1 \text{ m}^3 = 1,8 \text{ t}$
- Stabiler Kolkenschutz trotz hoher hydraulischer Belastungen

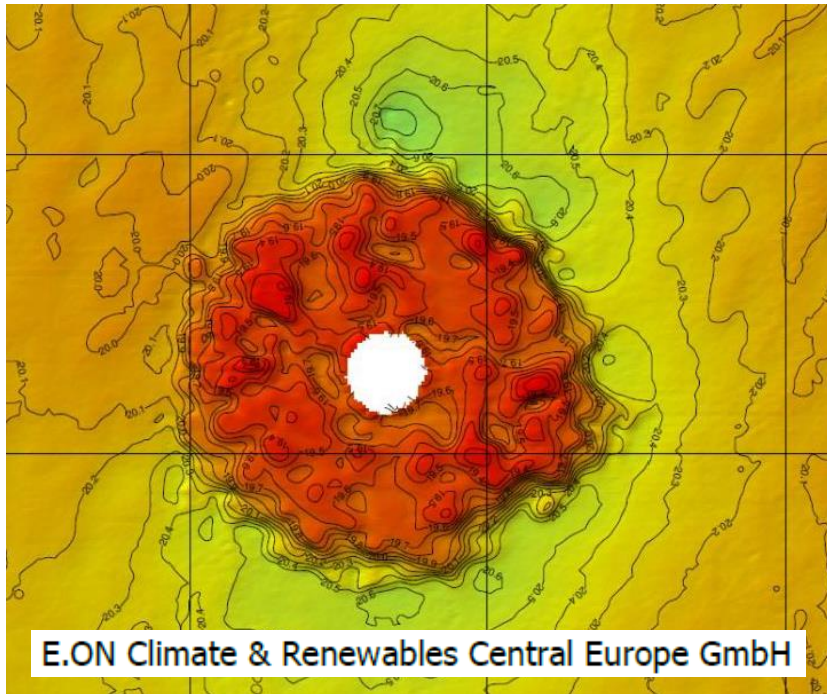


# Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

## Erfahrungen Kolkenschutz – OWP Amrumbank West

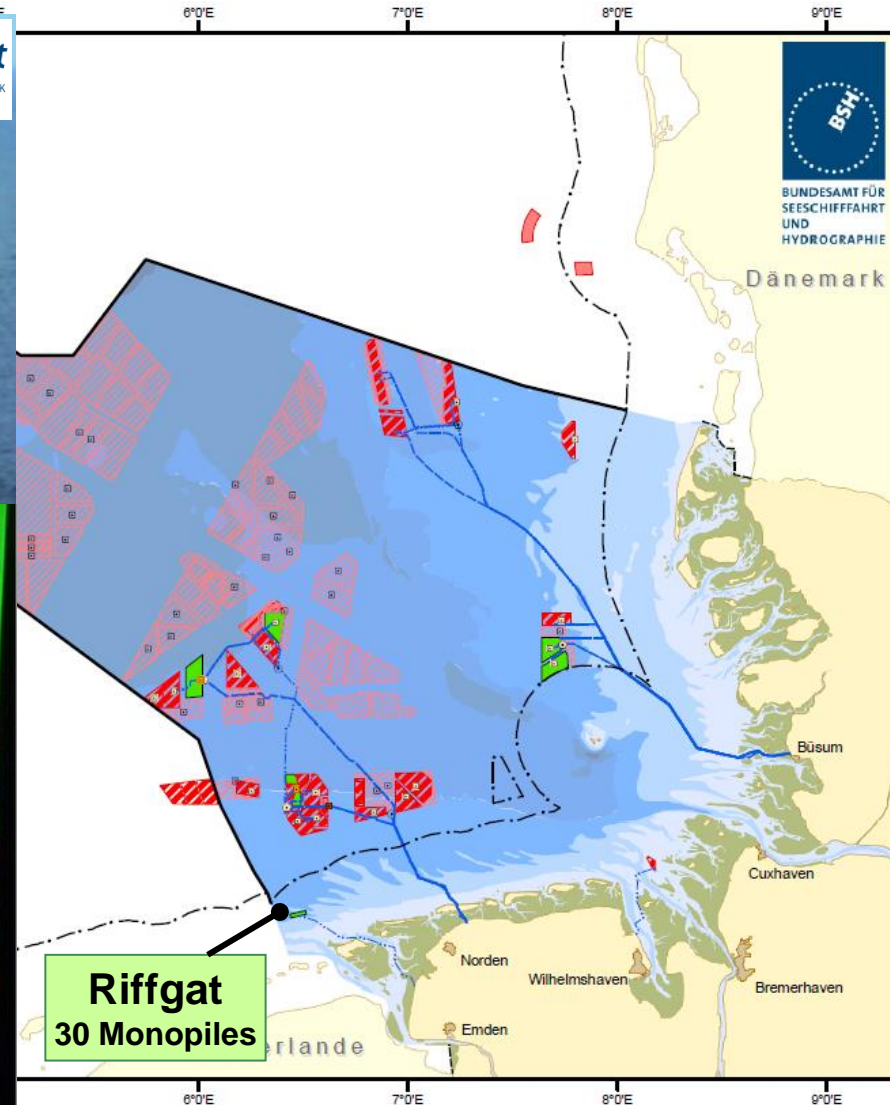
### OWP Amrumbank West

- Installation in 2013
- Ca. 500 Sandcontainer pro Lokation
- Sehr stabiler Kolkenschutz trotz hoher hydraulischer Belastungen



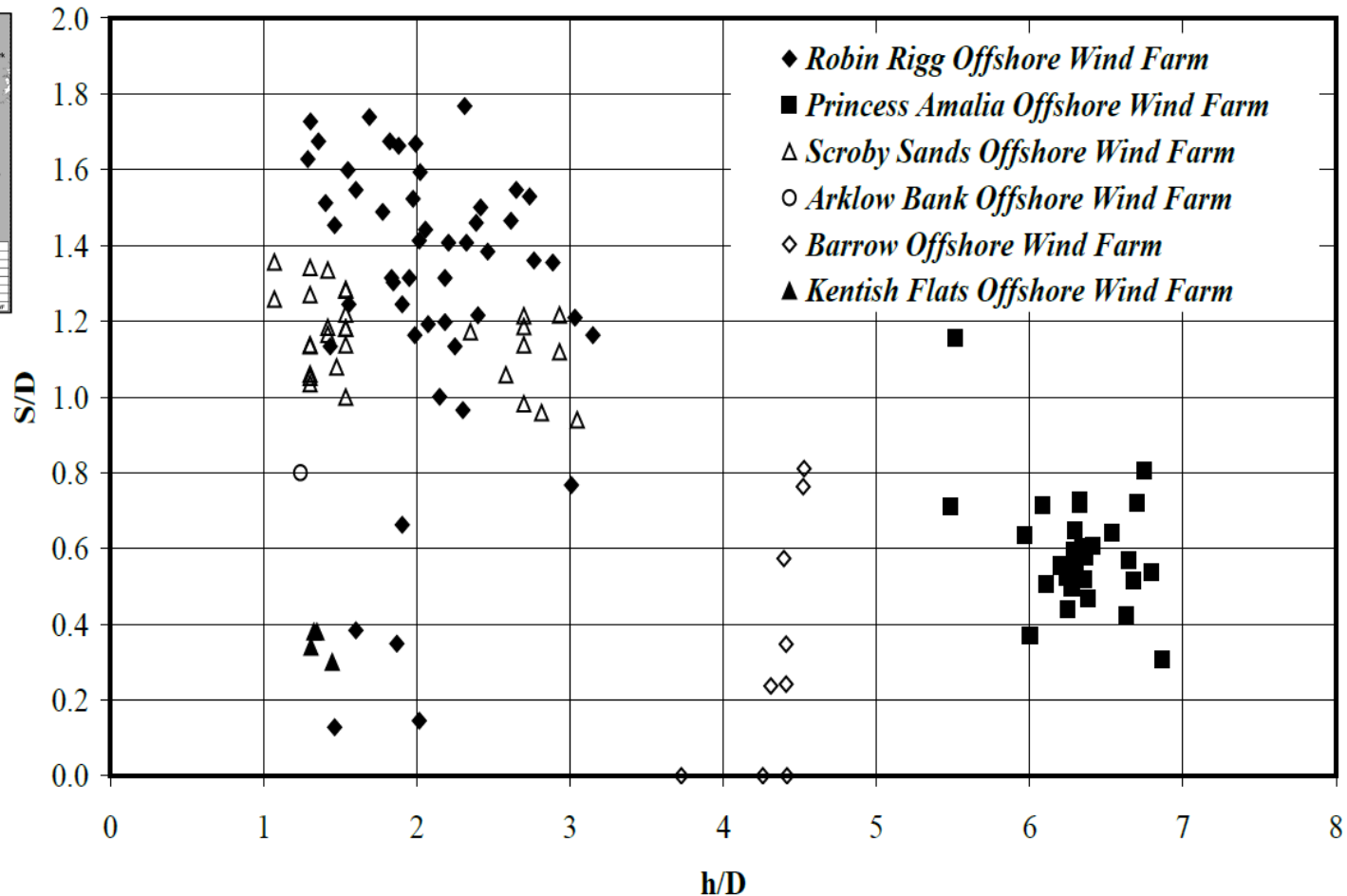
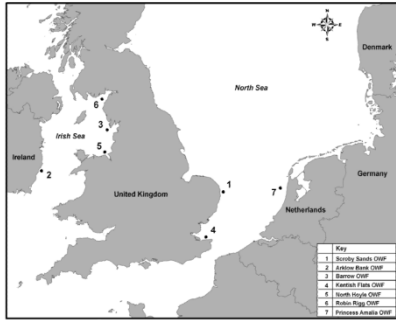
# Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

## Erfahrungen – Riffgat



# Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

## Erfahrungen in UK



1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
3. Ermittlung der Kolktiefe
4. Kolkenschutzstrategien
5. Design und Auslegung des Kolkenschutzes
6. Bauverfahren und Logistik
7. Monitoring und Maintenance
8. Ausführungsvarianten des Kolkenschutzes
9. Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen
- 10. Zusammenfassung**

## Kolkungsprozesse

- sind individuell verschieden
- können nur bauwerksbezogen verallgemeinert werden
- bedürfen der genauen Betrachtung der hydraulischen Bedingungen

## Kolkschutzmaßnahmen

- Individuelle bauwerksspezifische Anpassung an
  - hydraulische Bedingungen,
  - Bauwerk und Geologie
  - Baubetrieb
  - Zielsetzungen hinsichtlich Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit

## Zukünftiger Untersuchungsbedarf

- hydraulische und morphodynamische Prozesse an OWEA
- Erosionsstabilität von Kolkschutzmaterialien
- Ableitung von Berechnungsverfahren für die Ingenieurpraxis
- Verbesserung von bauwerkspezifischen Bemessungsverfahren und -ansätzen für die Ingenieurpraxis
- **Sammeln von praktischen Projekterfahrungen !!**



**Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit**

on Team Kreativität  
Land Innovation  
Solist

