



**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

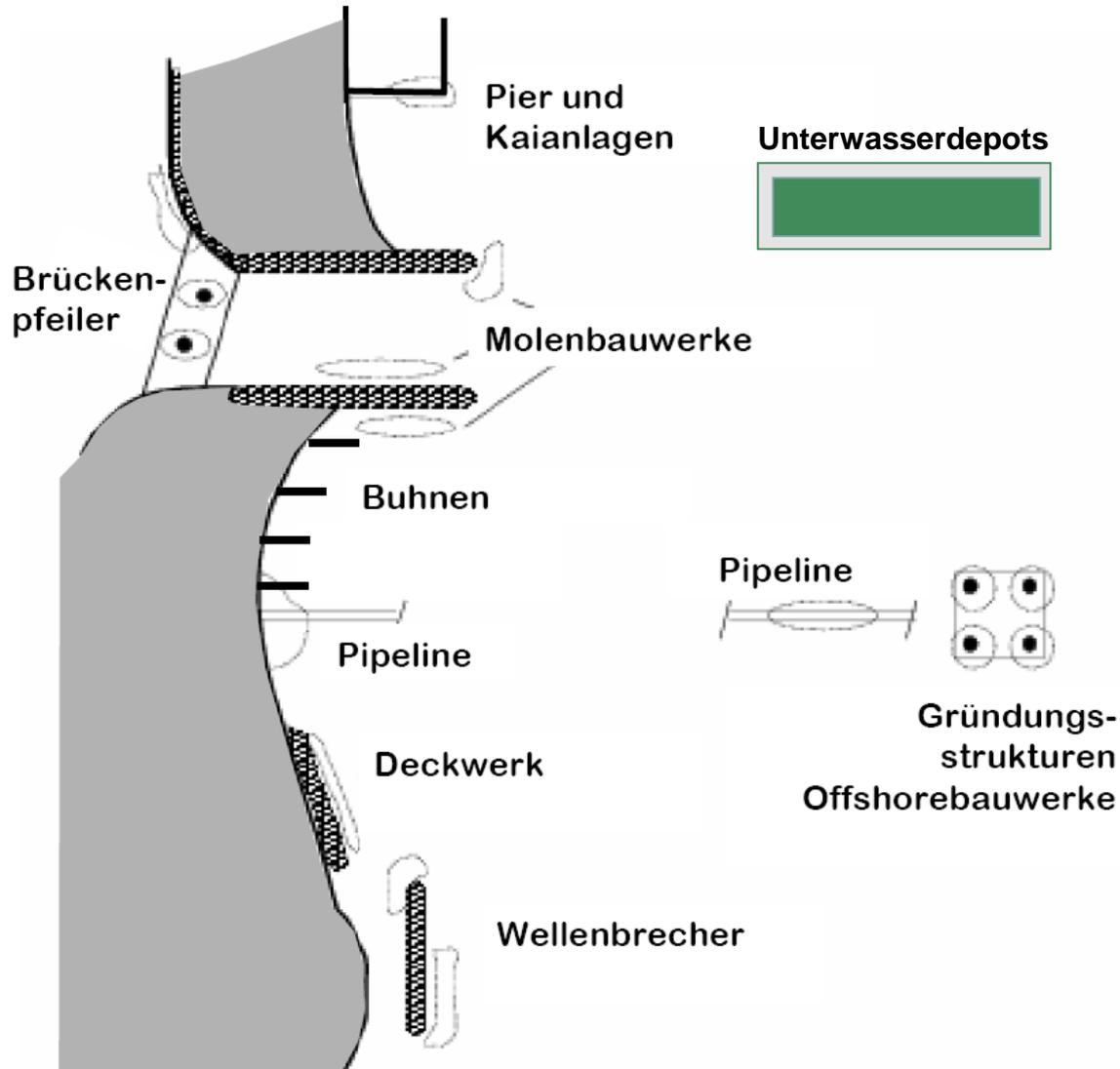
Der Kolk-Prozess

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



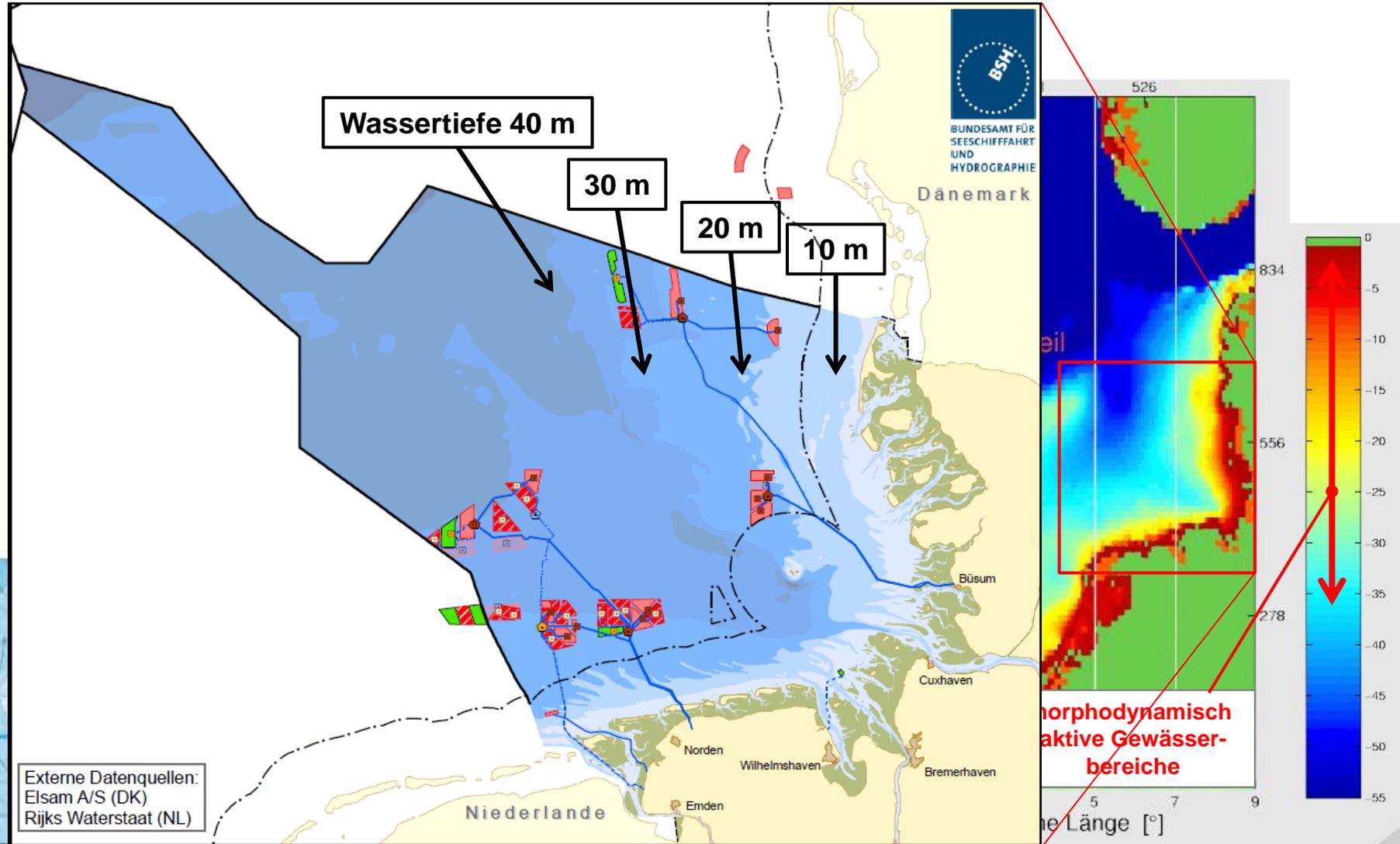
Einführung

Bedeutung von Kolkprozessen in der Ingenieurpraxis



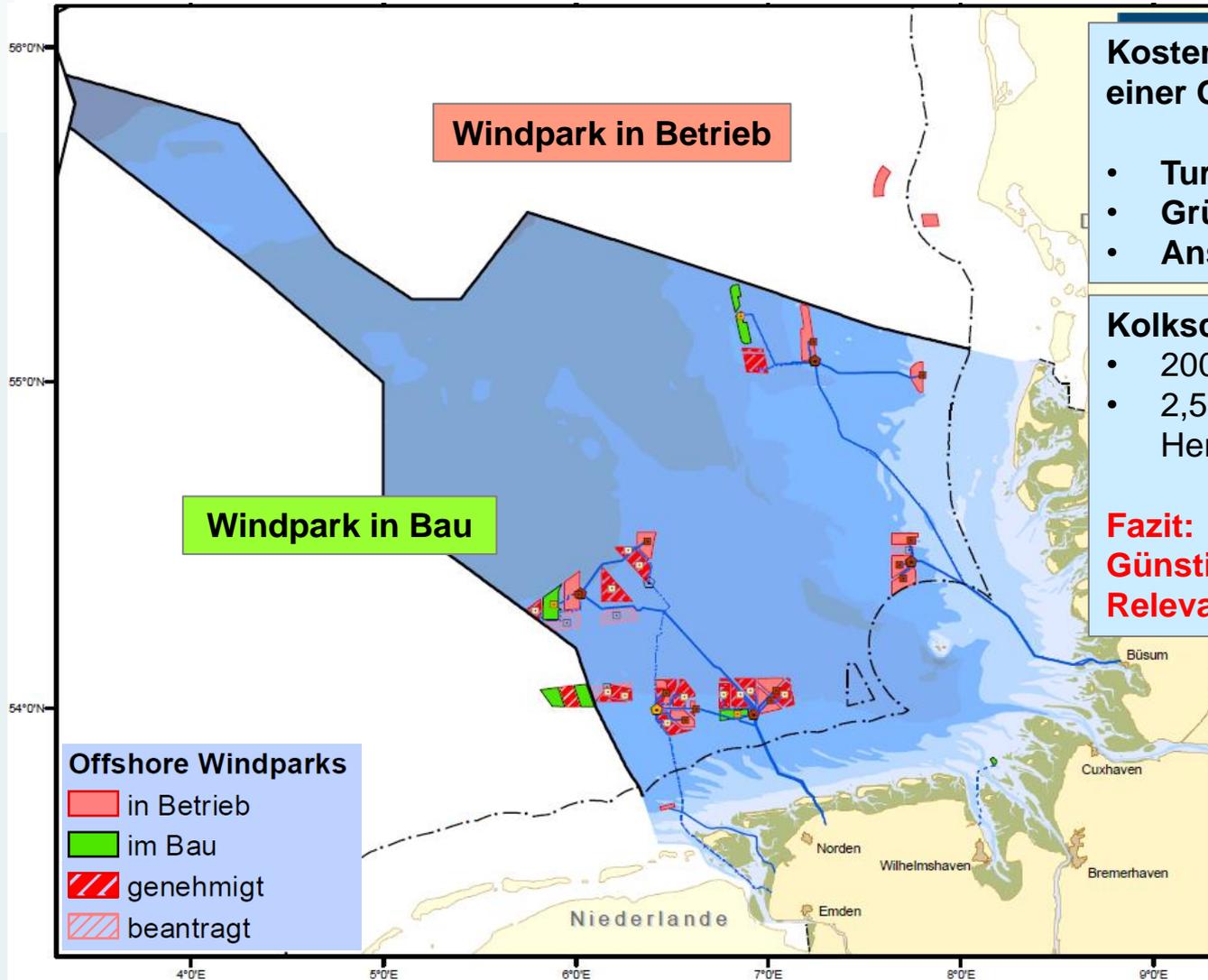
Einführung

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



Einführung

Kolk – Bedeutung für die Ingenieurpraxis / Offshore-Wind



Kostenanteile für die Herstellung einer OWEA

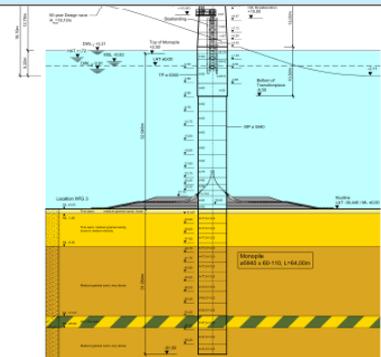
- Turbine 55%
- Gründung 35%
- Anschluss 10%

Kolkschutz

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

Fazit:

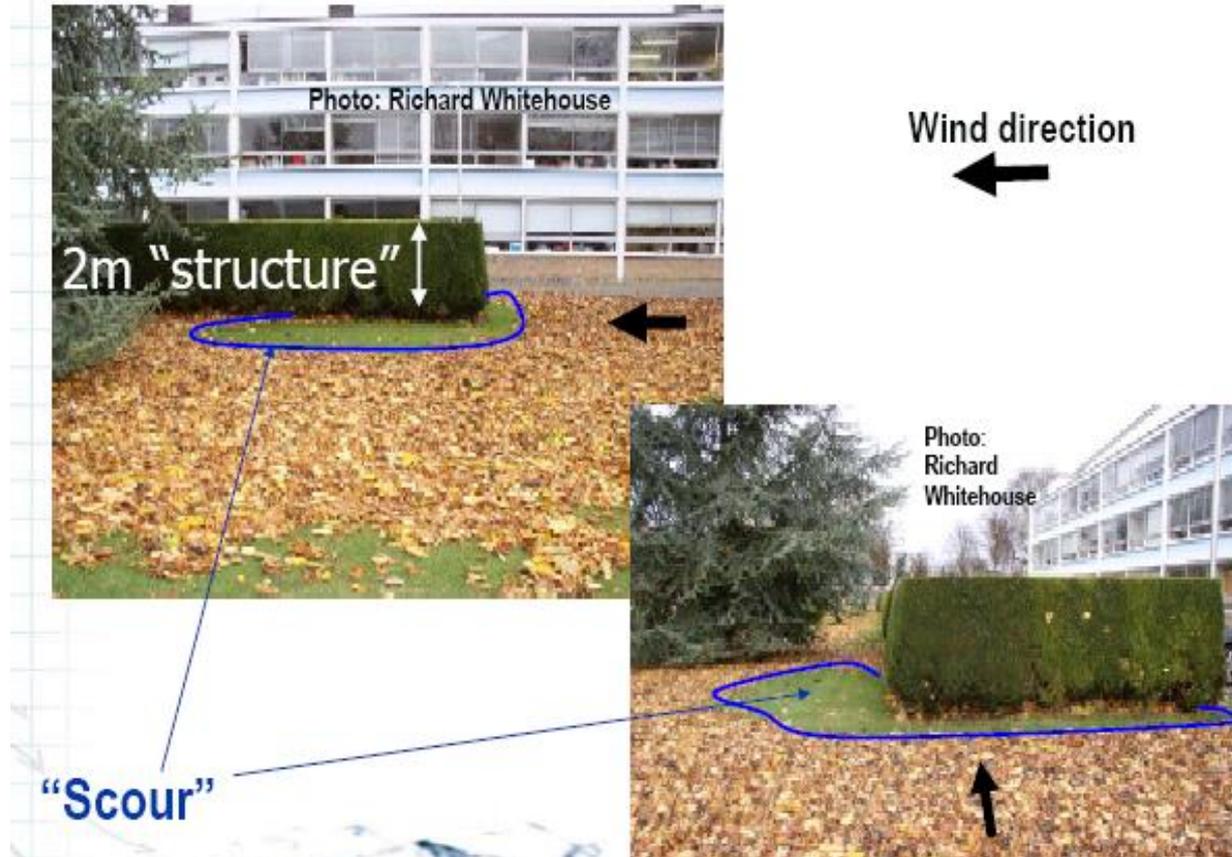
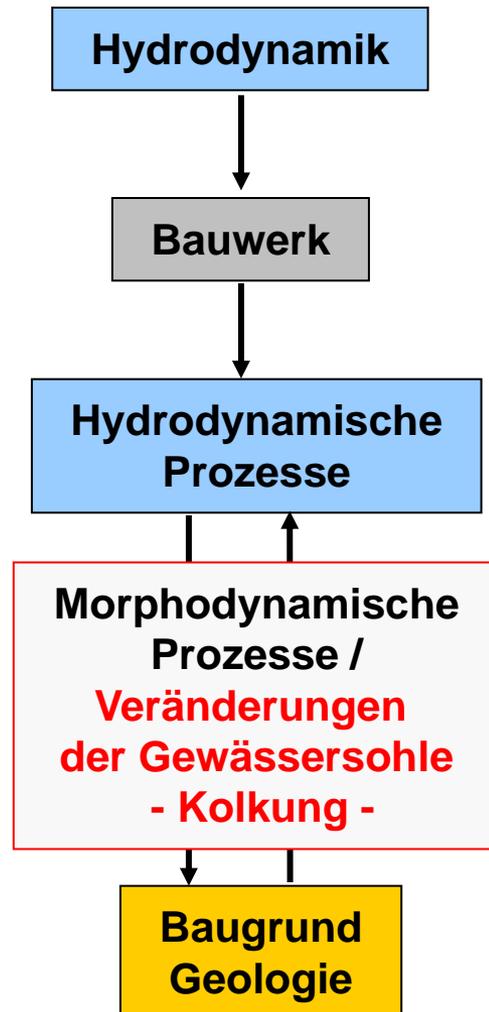
Günstiges Bauteil von großer Relevanz !



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

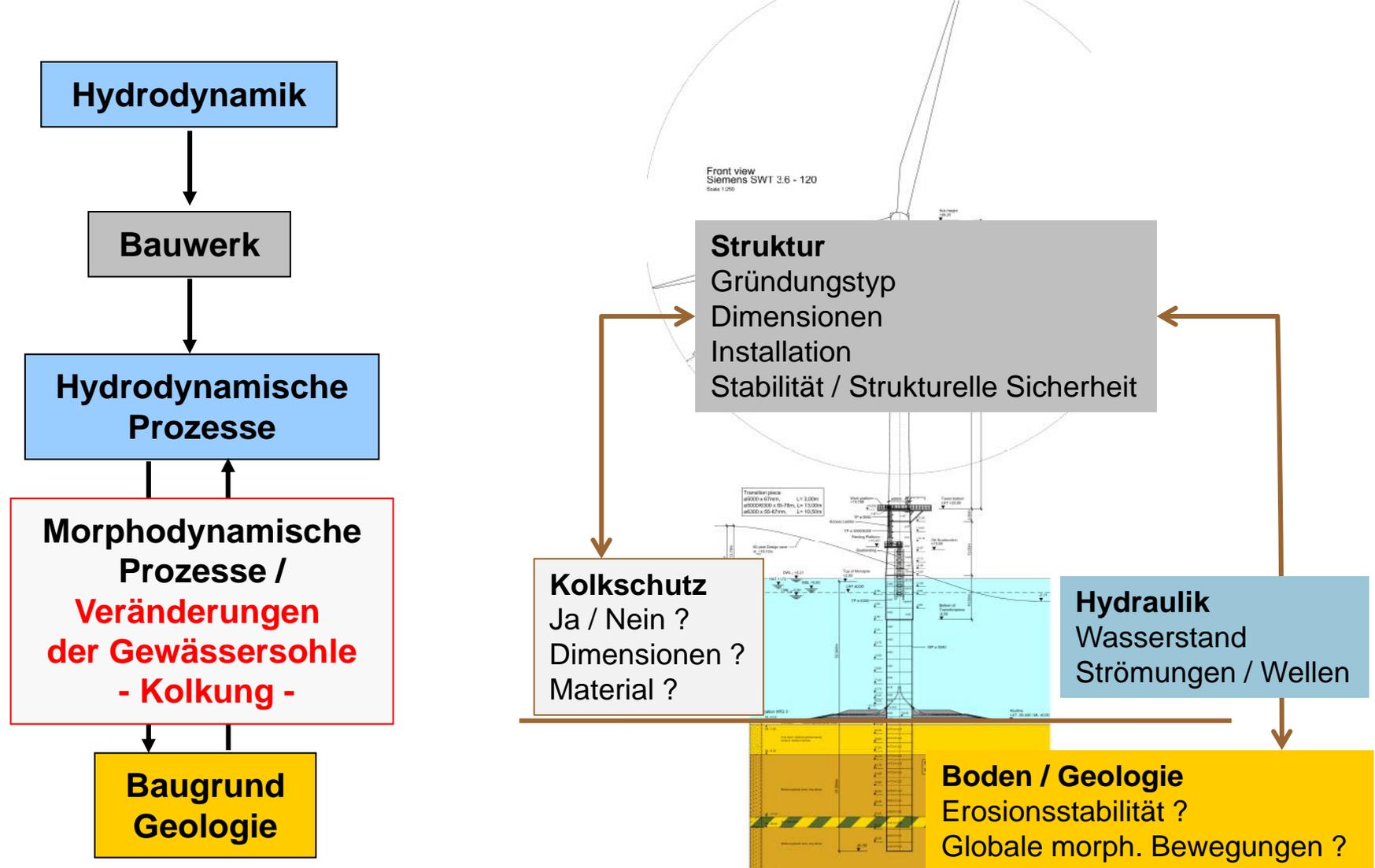
Kolkprozesse und Einflussparameter

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



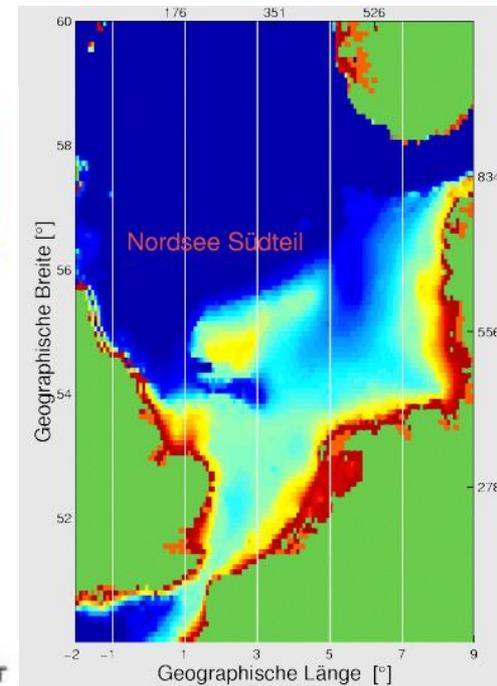
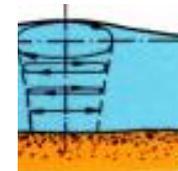
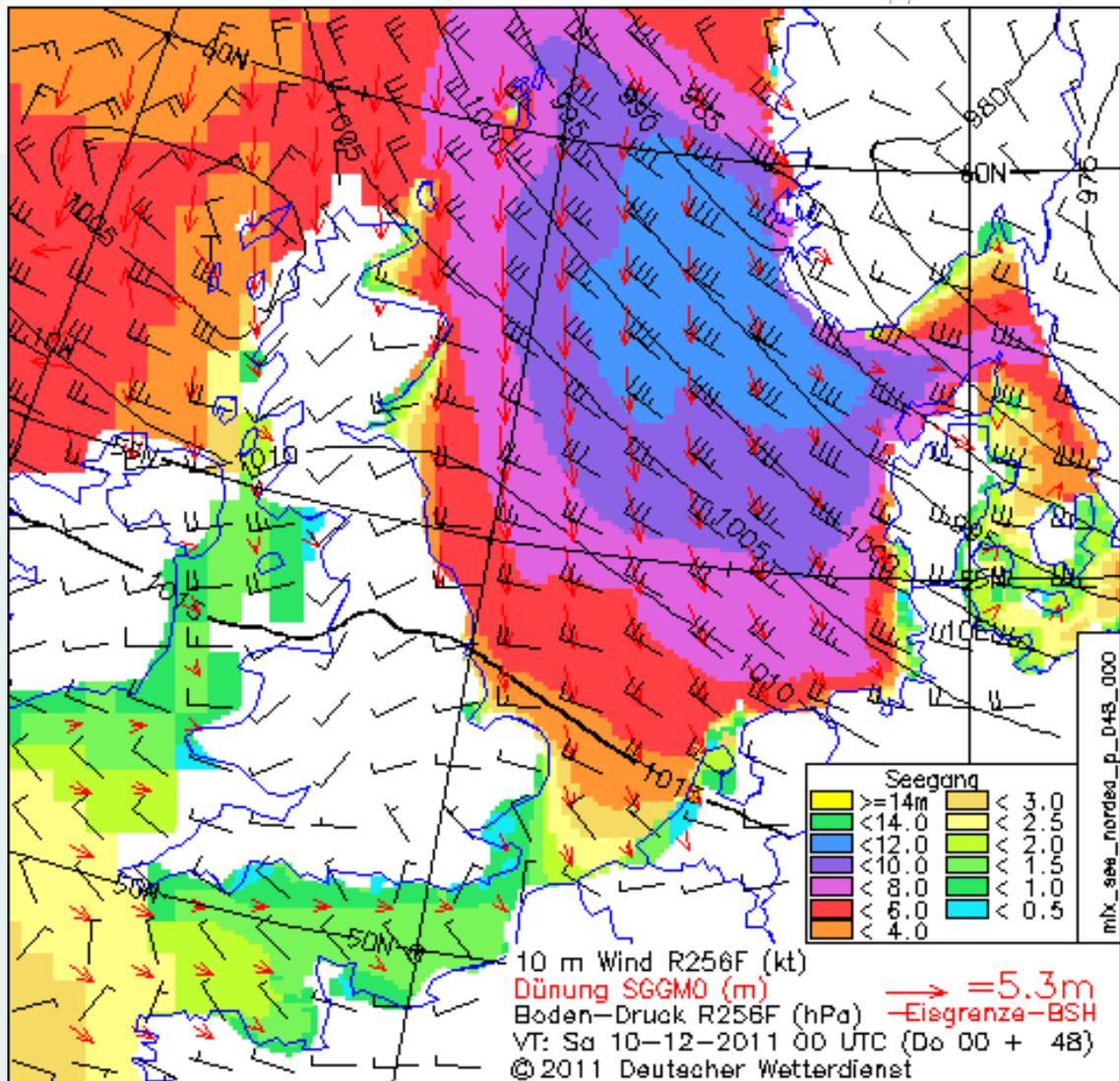
Kolkprozesse und Einflussparameter

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



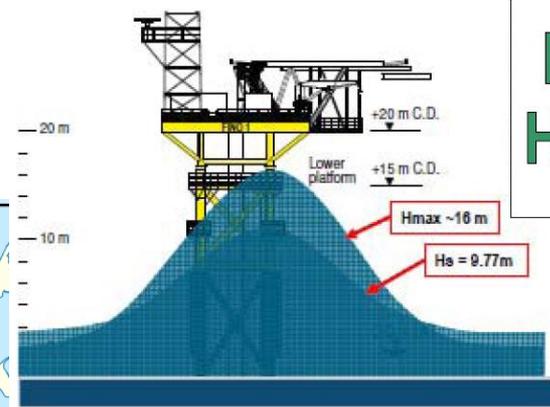
Kolkprozesse und Einflussparameter

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



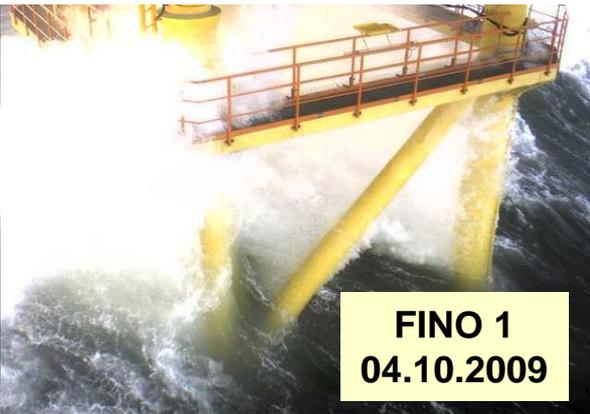
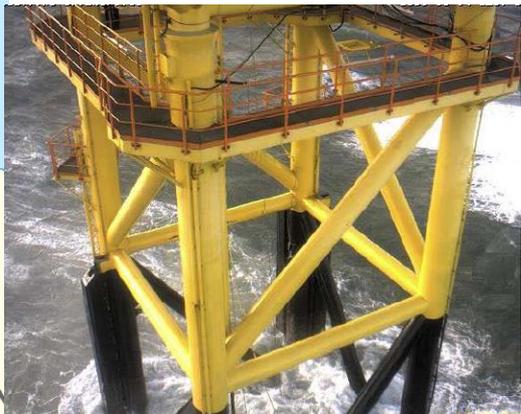
Kolkprozesse und Einflussparameter

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

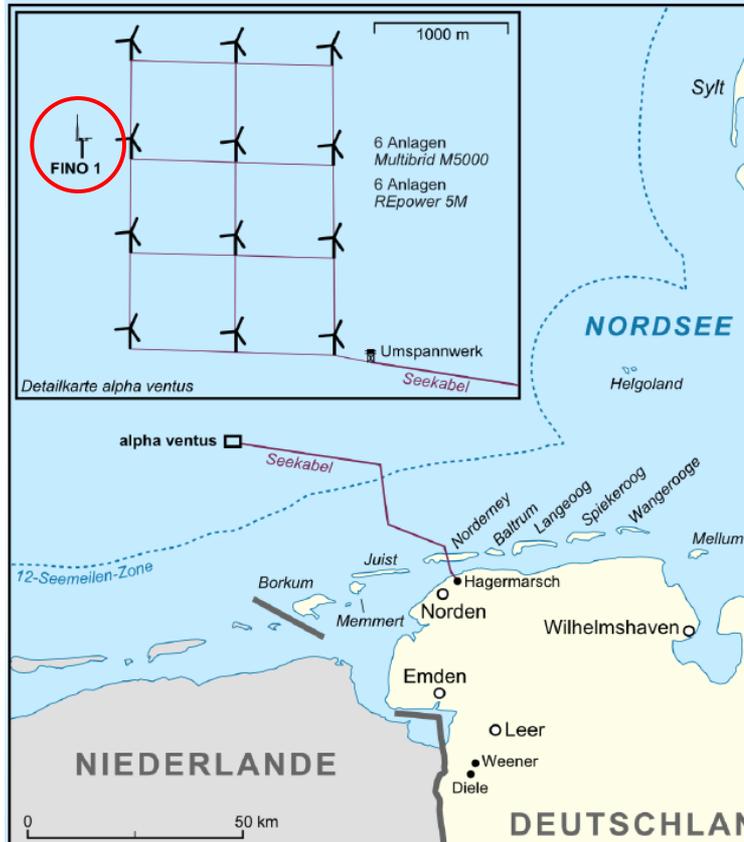


Hs = 9.77 m
Hmax ~ 16 m

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

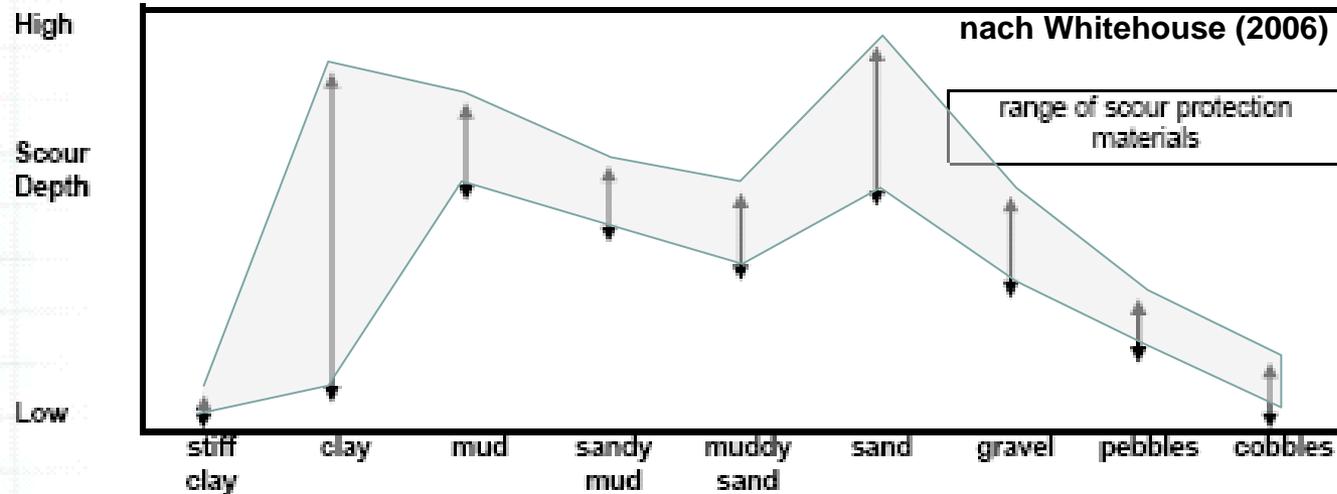


FINO 1
04.10.2009



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)



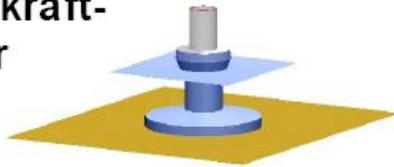
liquefaction risk



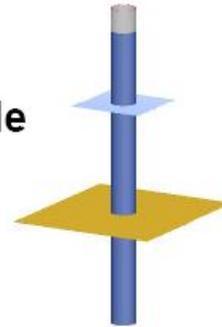
Kolkprozesse und Einflussparameter

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

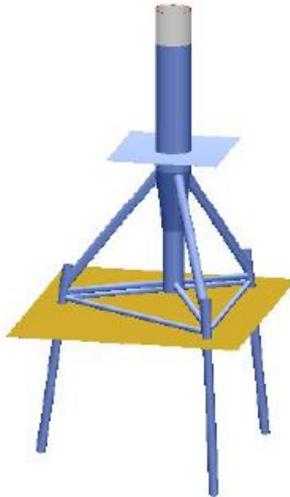
Schwerkraft-
struktur



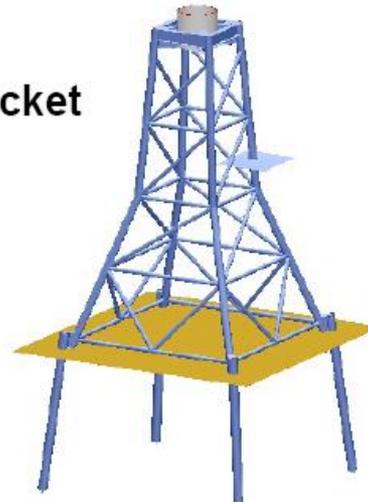
Monopile



Tripod



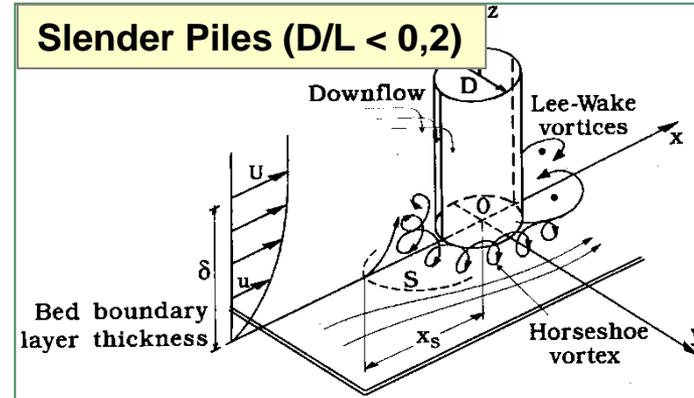
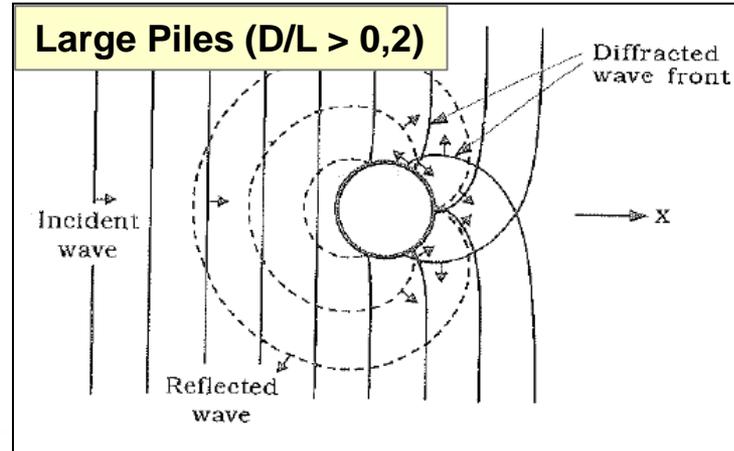
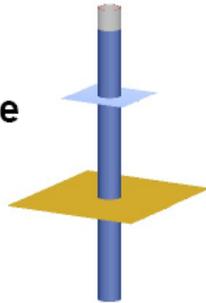
Jacket



Kolkprozesse und Einflussparameter

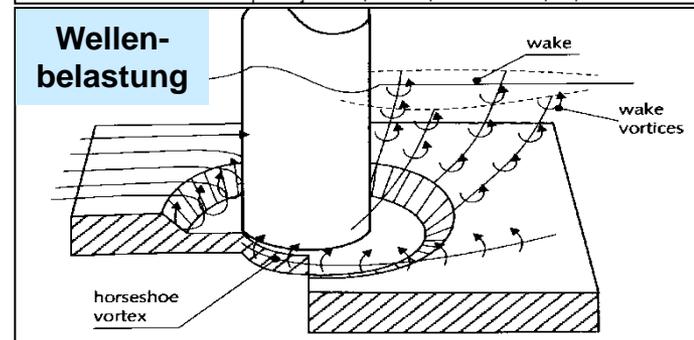
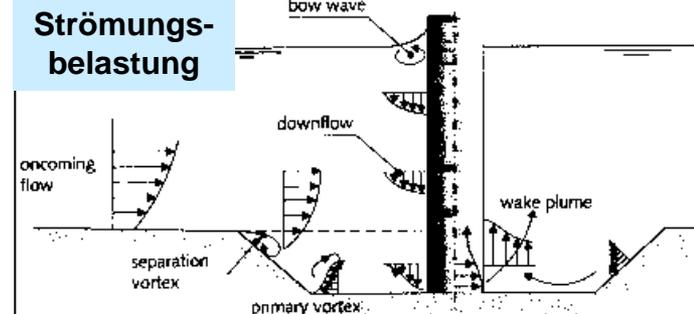
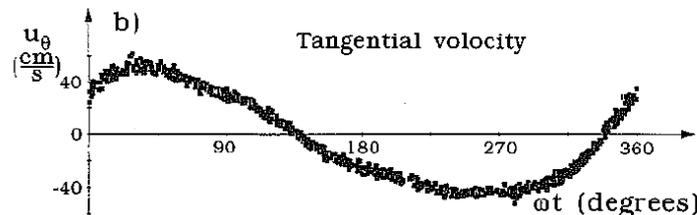
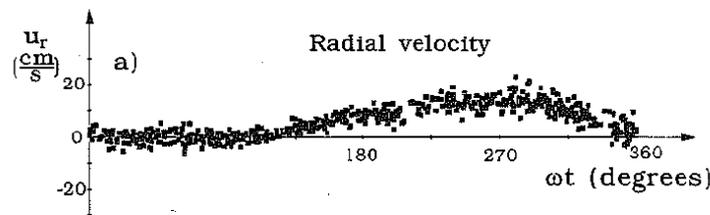
Kolk = f (Hydraulik, Gewässersohle, **Bauwerk**, Zeit)

Monopile



Large Piles

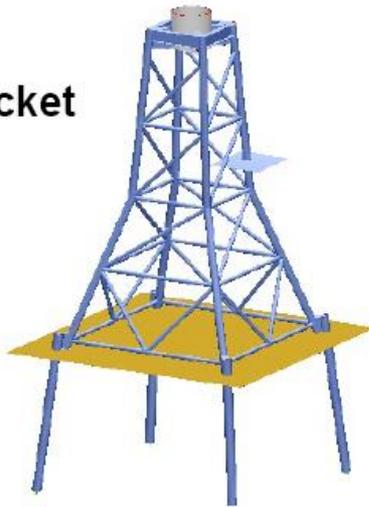
- Phase-resolved flow around the pile
- Steady streaming



Kolkprozesse und Einflussparameter

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

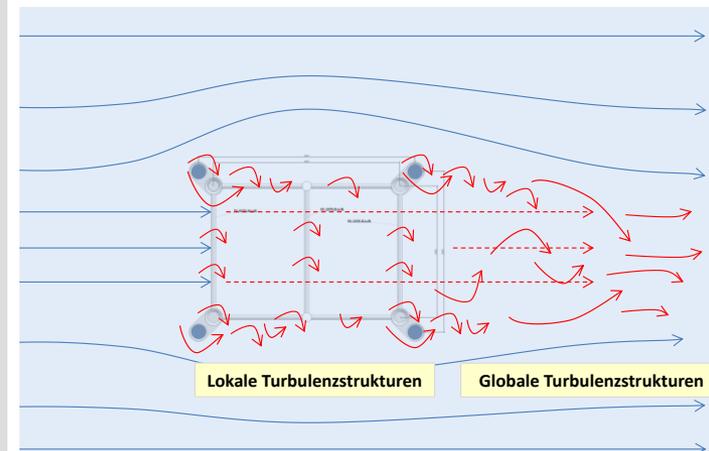
Jacket



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

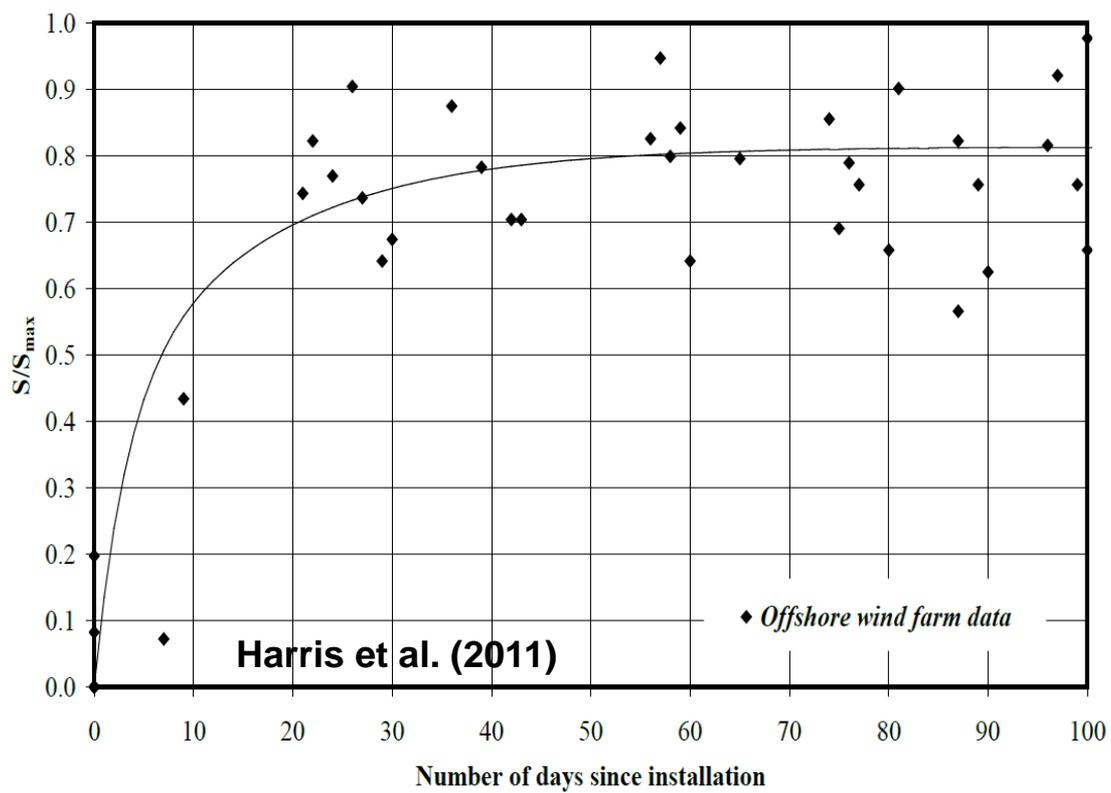
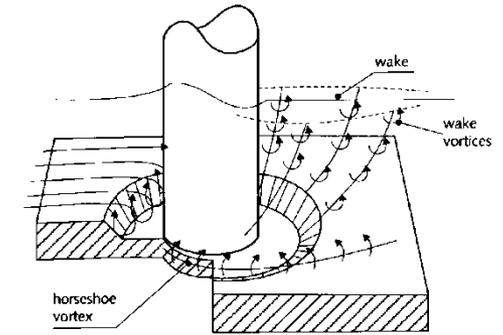
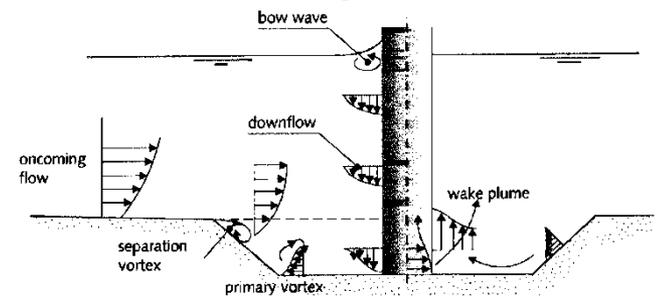
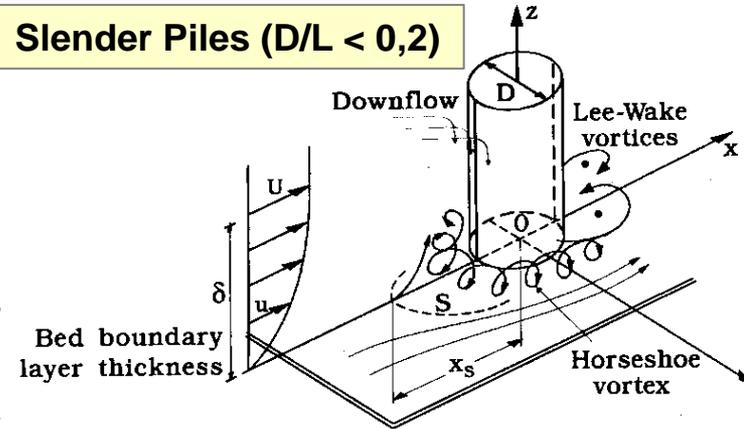
Reynolds-Zahl-Bereich	Strömungsbereich	Strömungsform	Strömungscharakteristik
$Re \rightarrow 0$	schleichende Strömung		stationär, kein Nachlauf
$3 - 4 < Re < 30 - 40$	Wirbelpaar im Nachlauf		stationär, Ablösung symmetrisch
$30 < Re < 80$ $40 < Re < 90$	Einsetzen der Kármánschen Wirbelstraße		laminar, 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
$10^5 < Re < 3 \cdot 10^6$ $1.3 \cdot 10^5 < Re < 3.5 \cdot 10^6$	kritischer Bereich		laminare Ablösung, turbulentes Anlegen turbulente Ablösung, turbulenter Nachlauf
$3.5 \cdot 10^6 < Re$	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**

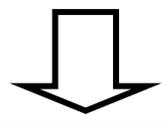
Ermittlung der Kolkentiefe

Interaktion Hydrodynamik - Bauwerk

Grundvoraussetzung für die Beschreibung von Kolkprozessen und Ableitung von Schutzmaßnahmen:

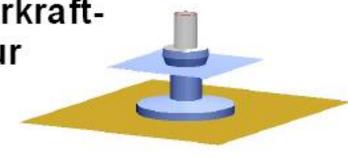
Genaue Beschreibung der Interaktion Hydrodynamik – Bauwerk

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

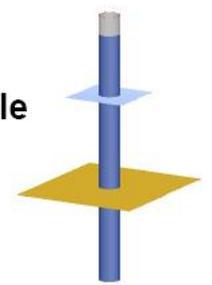


Ableitung des Kolkprozesses in Raum und Zeit und Bestimmung erforderlicher Schutzmaßnahmen

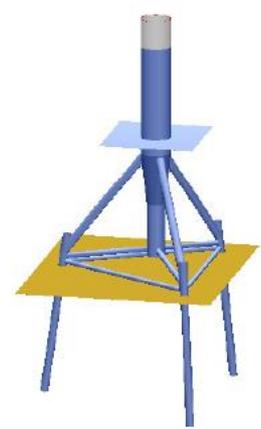
Schwerkraftstruktur



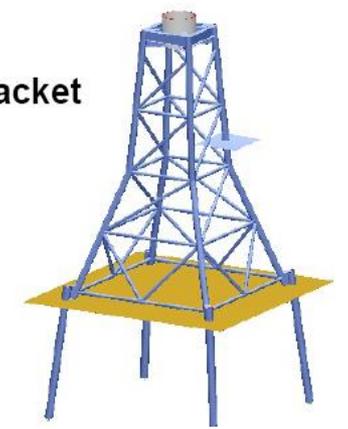
Monopile



Tripod



Jacket



Ermittlung der Kolktaiefe

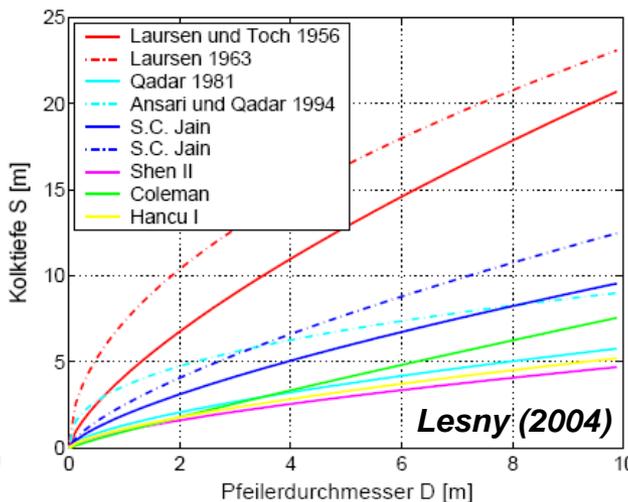
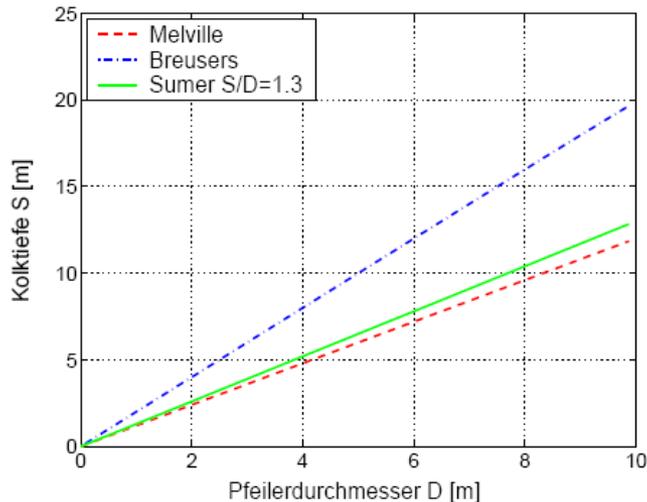
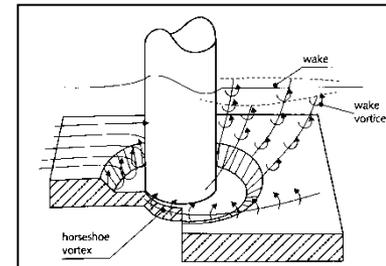
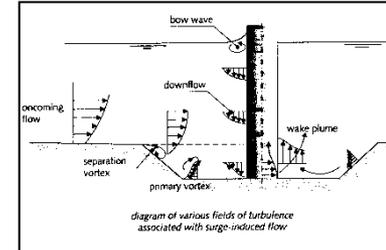
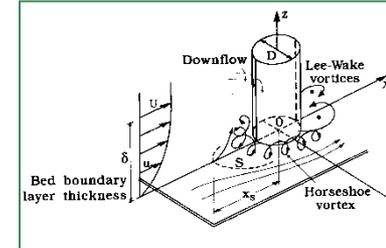
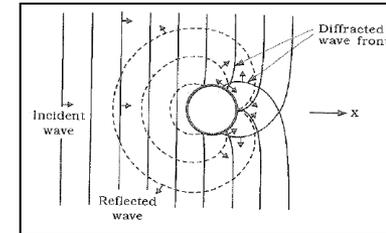
Interaktion Hydrodynamik – Bauwerk (Beispiel Monopile)

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

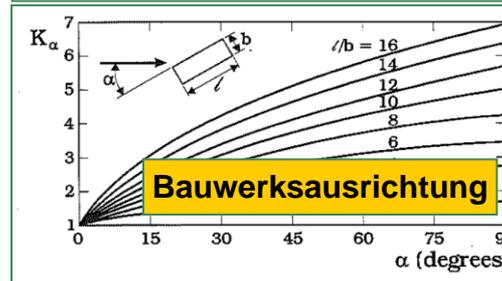
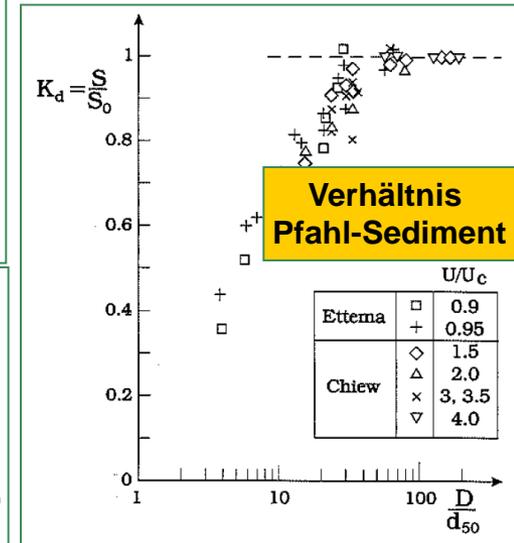
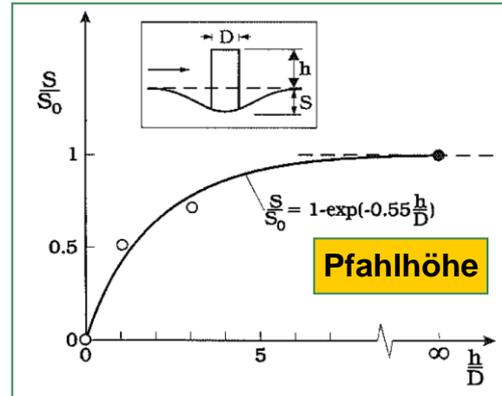
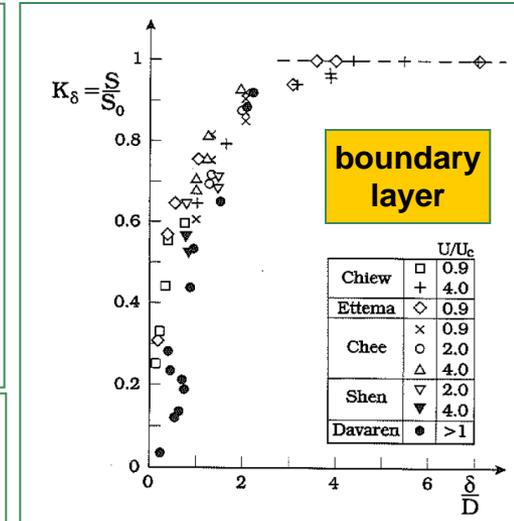
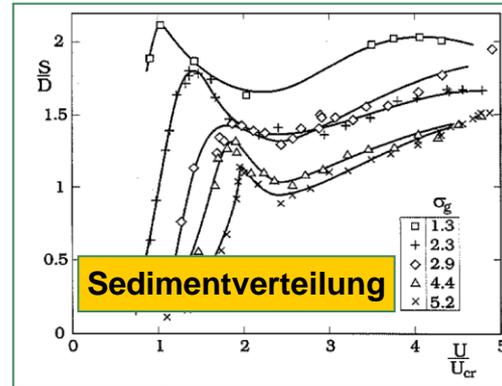
Kolktaiefenermittlung bei Strömungsbelastung als Funktion von

- 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 $\sigma_{S/D} = 0,7$



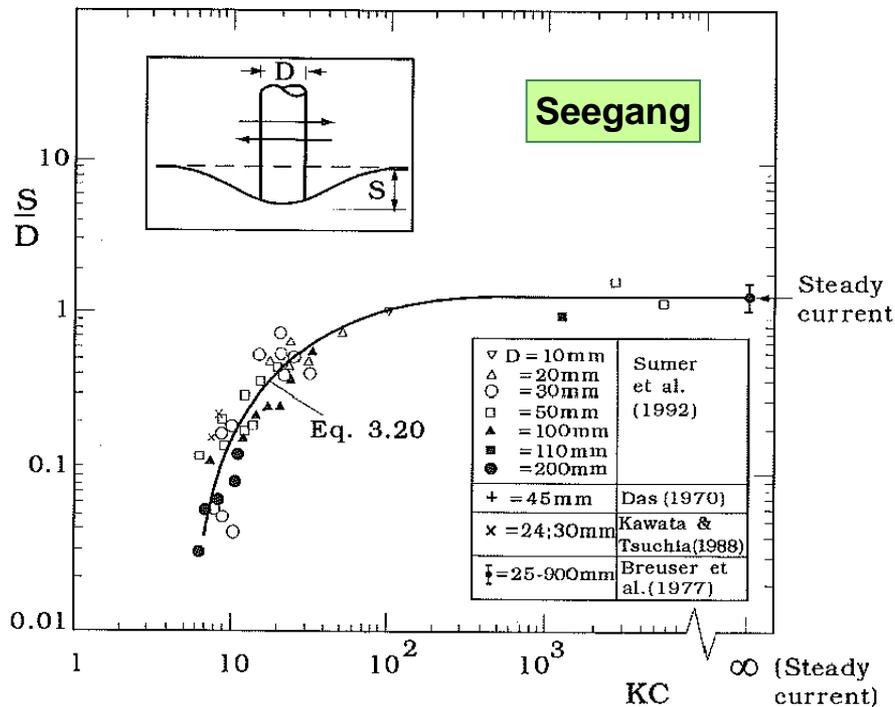
Ermittlung der Kolktaiefe

Interaktion Hydrodynamik – Bauwerk (Beispiel Monopile)

Seegang

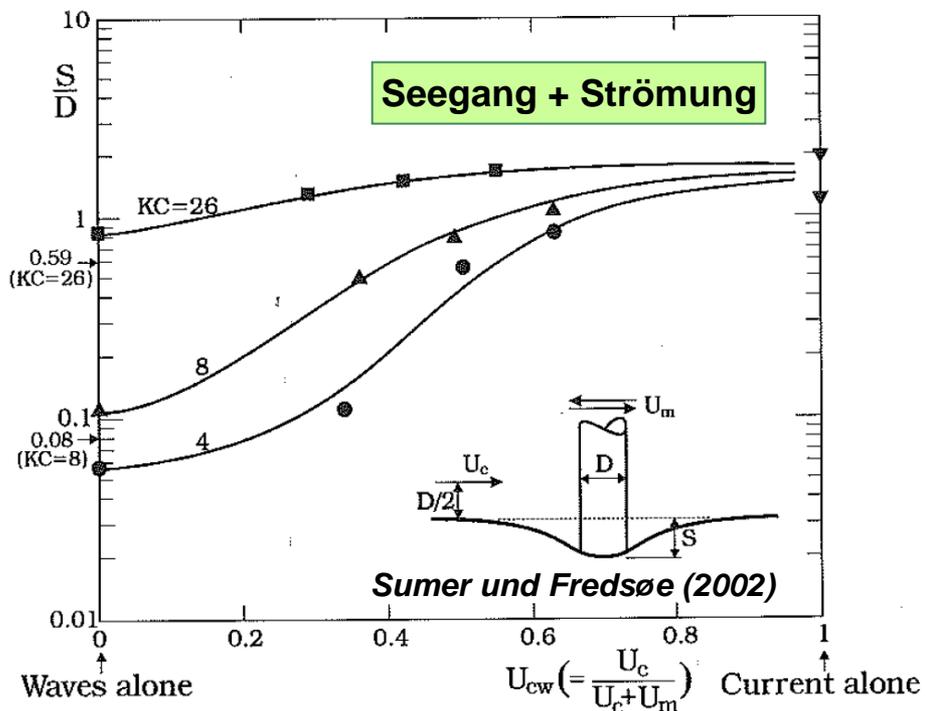
Kolktaiefenermittlung bei Seegang als Funktion

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



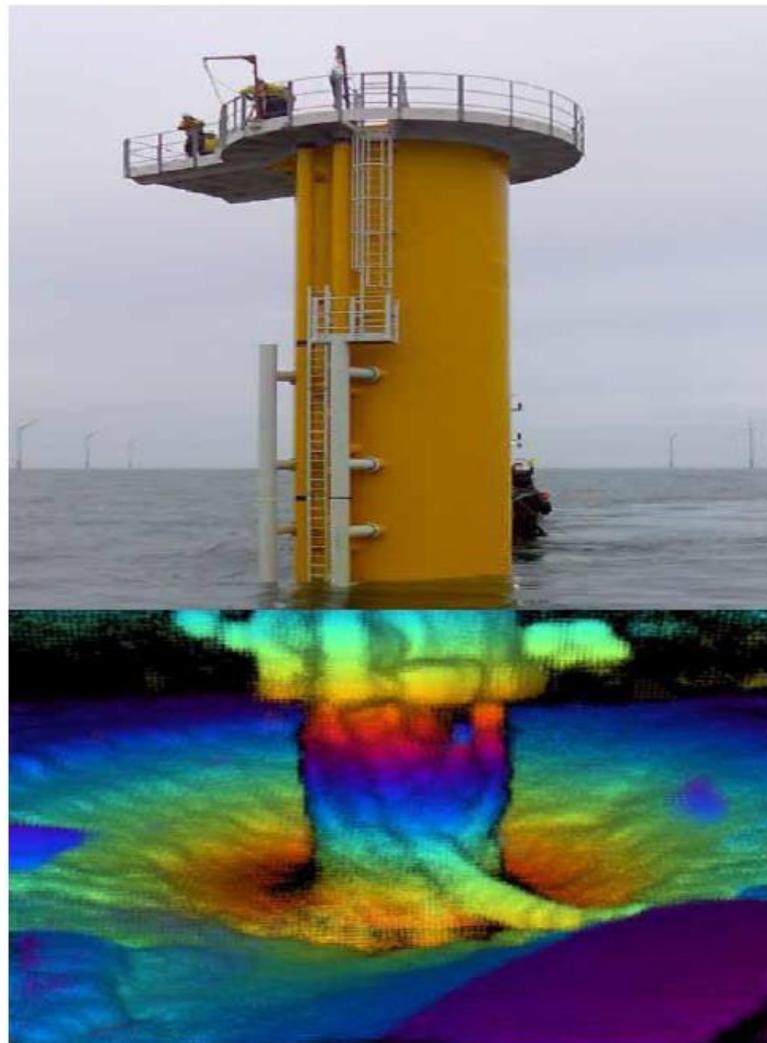
Kolktaiefenermittlung bei Seegang und Strömung als Funktion

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



Ermittlung der Kolkentiefe

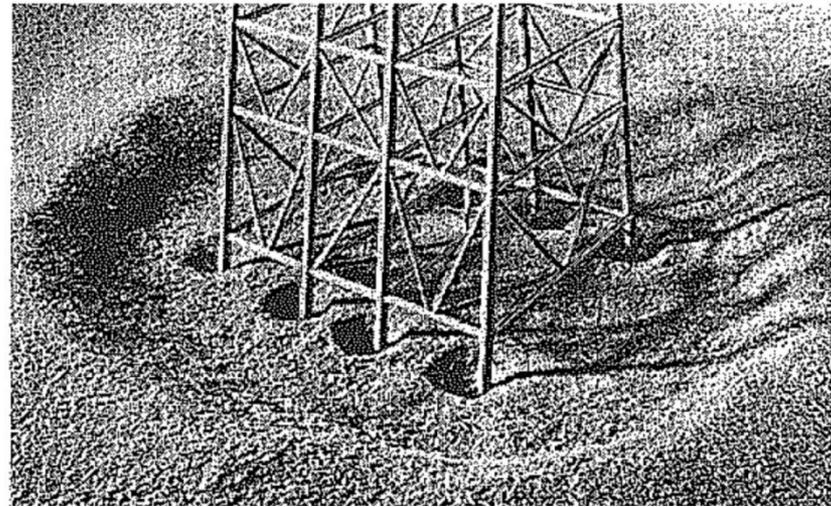
Interaktion Hydrodynamik – Bauwerk (Beispiel Monopile)



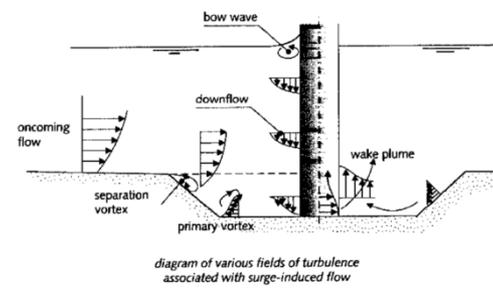
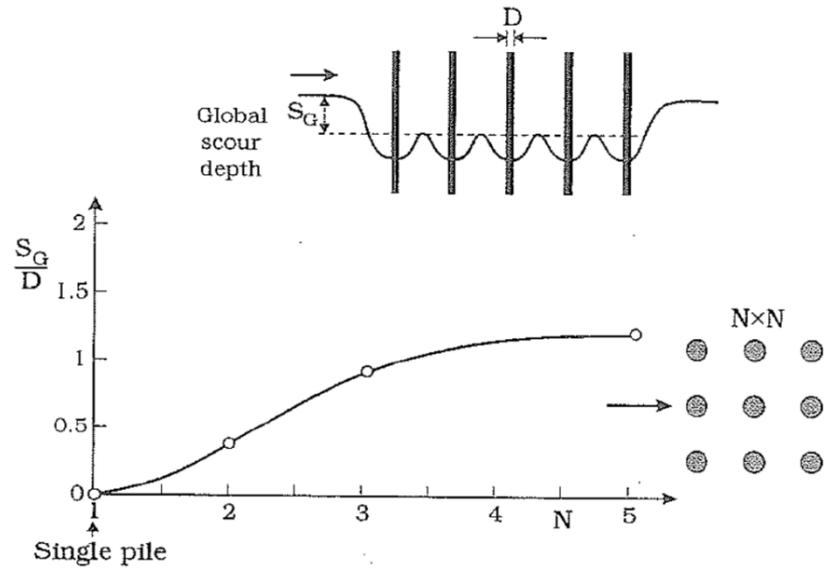
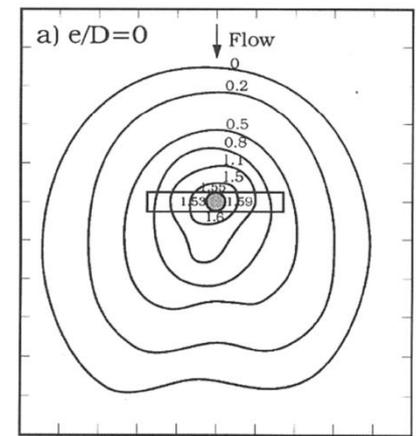
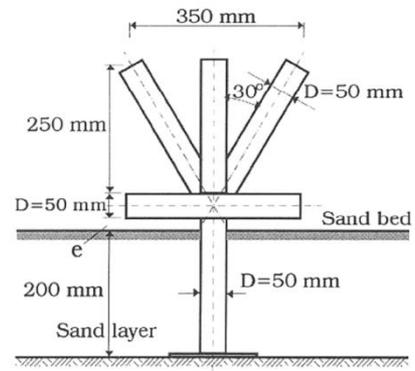
©: Achim Schmidt / IMS

Ermittlung der Kolkentiefe

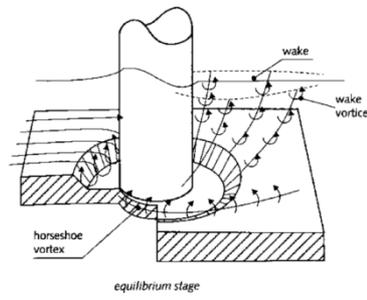
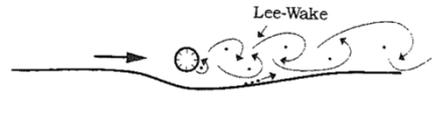
Was bedeutet das für ein komplexes Bauwerk ?



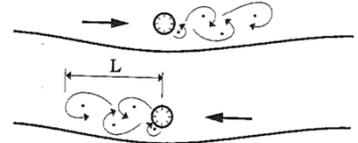
Totaler Kolk = globaler Kolk + lokaler Kolk



Tideströmung

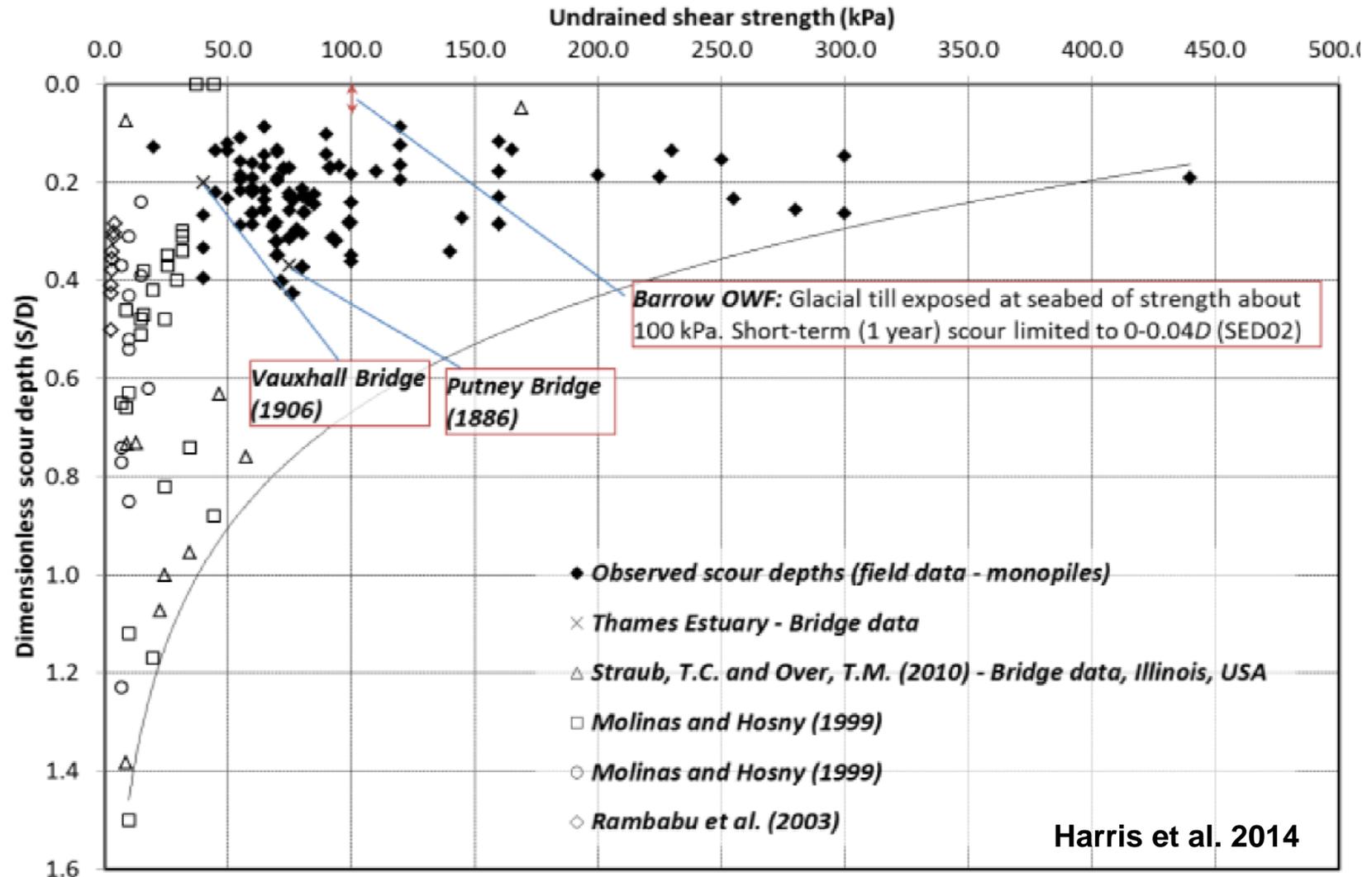


Welleninduzierte Strömung



Ermittlung der Kolktaiefe

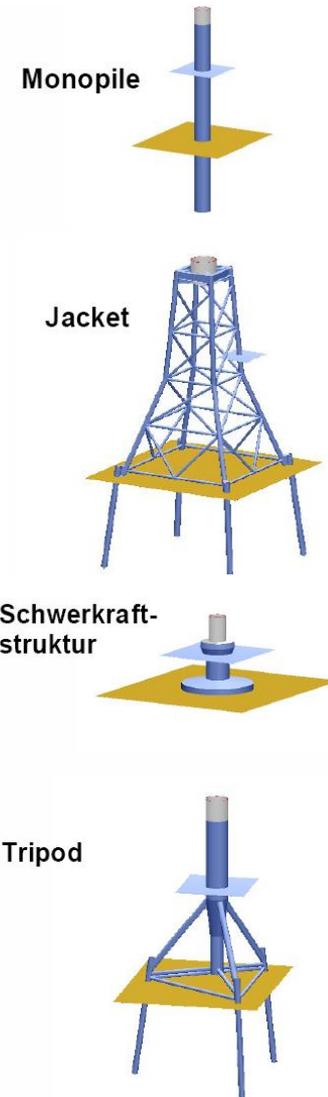
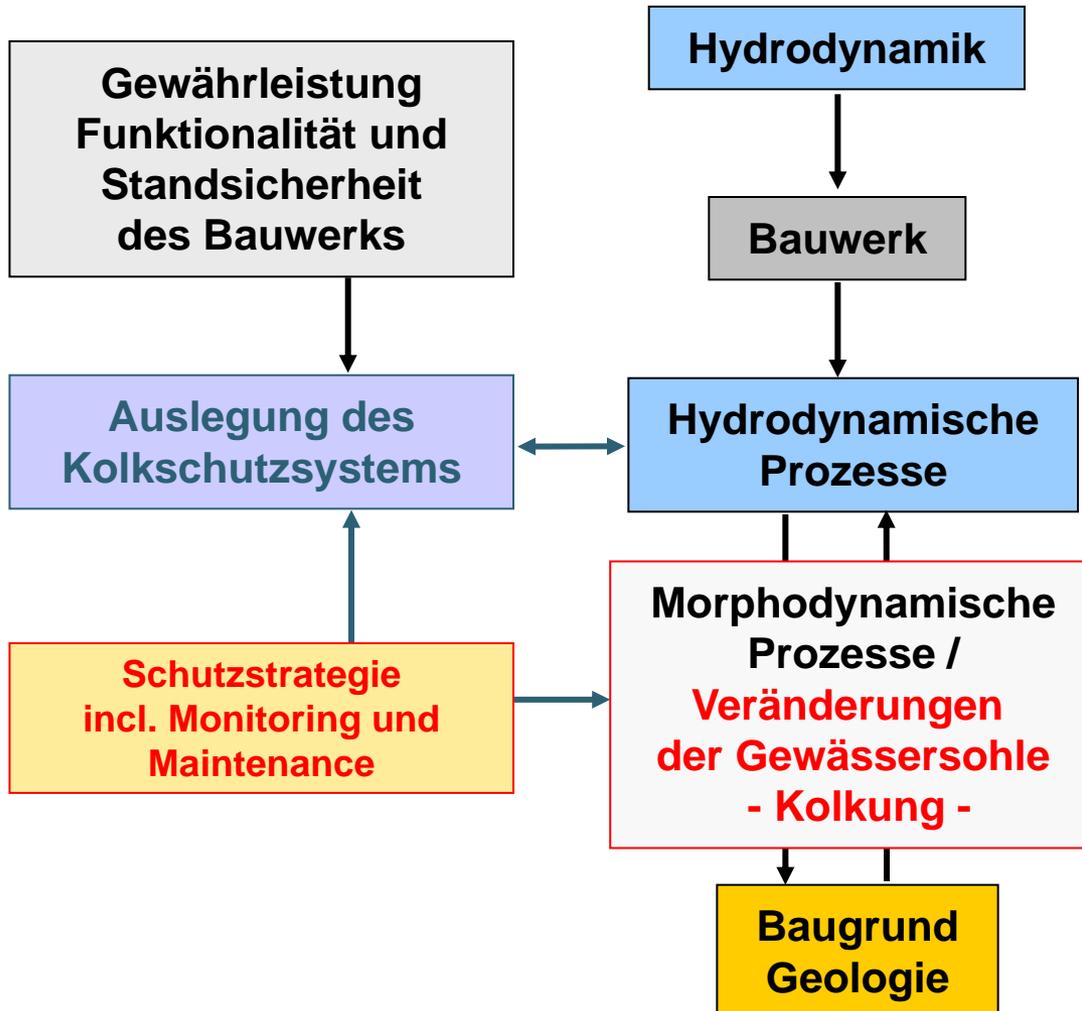
Was passiert bei bindigem Boden?



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

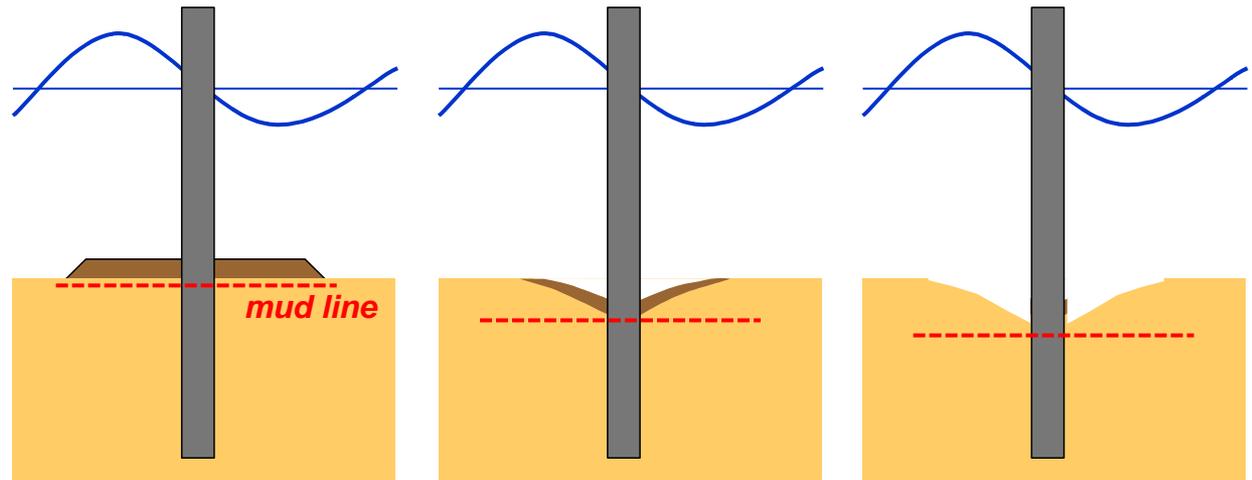
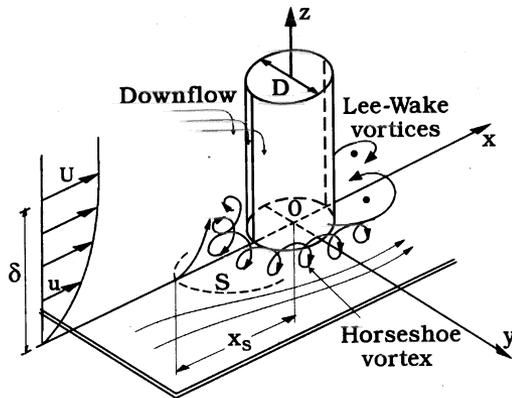
Kolkschutzstrategien

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 !

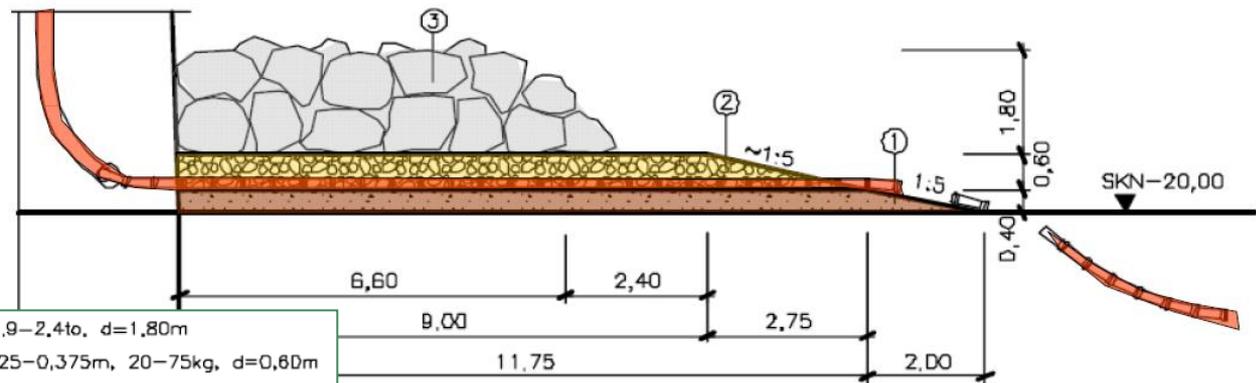
Anforderungen:

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



Mineralischer Kolkschutzaufbau:

- Deckschicht
- Filterlagen I / II
- Boden



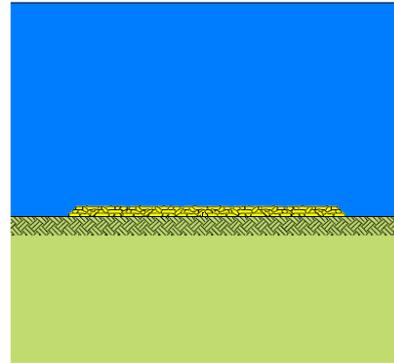
Deckschicht	③ Steine $\rho = 2,7t/m^3$, 1,1–1,2m, 1,9–2,4t, d=1,80m
Filter	② Wasserbausteine, $\rho = 2,7t/m^3$, D,25–0,375m, 20–75kg, d=0,60m
	① Mischkornfilter 2/150mm, $\rho = 2,7t/m^3$, d=0,40m

Kolkschutzstrategien

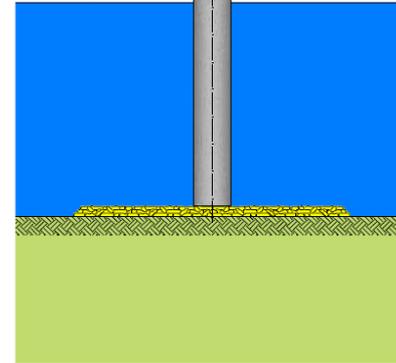
mit geotextilem Kolkschutz aus Sandcontainer (VSC)

Anforderungen an VSC:

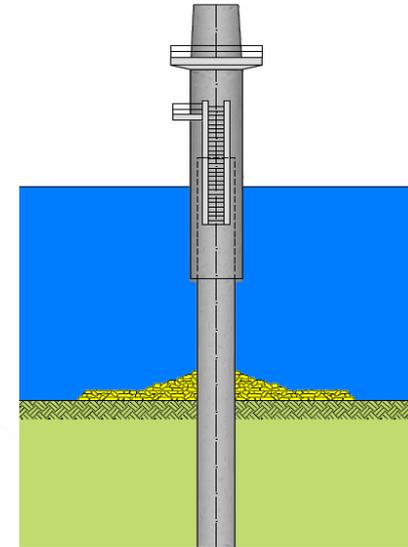
- Lagestabilität
- Abrieb
- UV-Beständigkeit
- Filterwirksamkeit
- Nahtfestigkeit
- Robustheit im Bauzustand
- Dehn-/Zugfestigkeit
- Durchrammbarkeit



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:

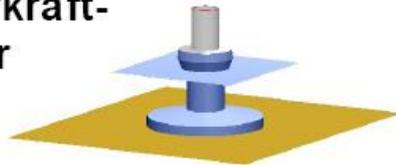
- Lagestabilität
- Abrieb
- Filterwirksamkeit



Kolkschutzstrategien

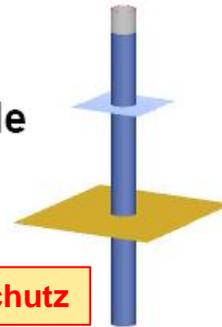
abhängig von der Gründungsstruktur
bei beweglicher Sohle

Schwerkraft-
struktur



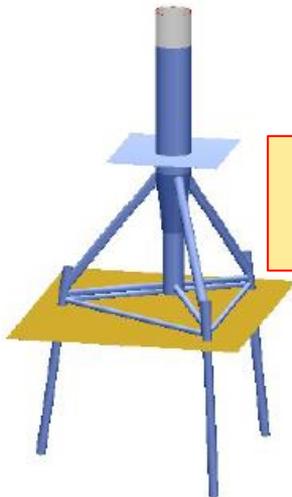
mit Kolkschutz

Monopile



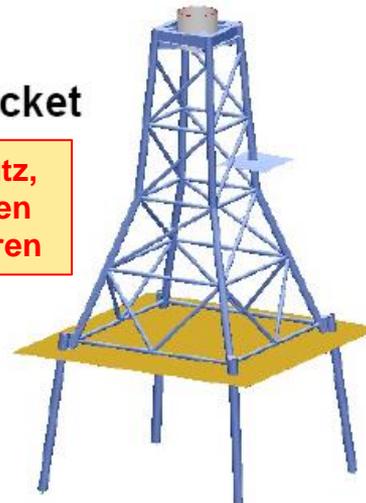
mit Kolkschutz

Tripod



ohne Kolkschutz,
ggf. lokal an den
Gründungsrohren

Jacket



ohne Kolkschutz

Tripile

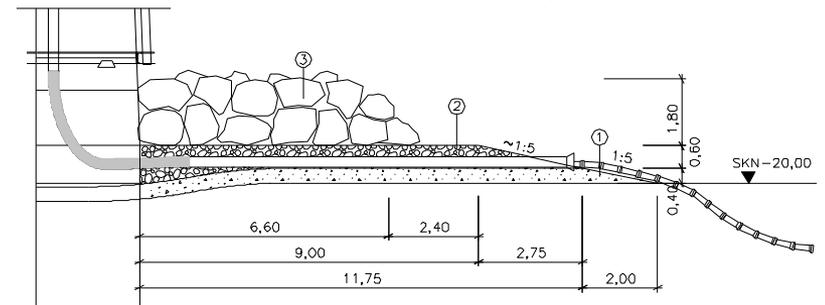
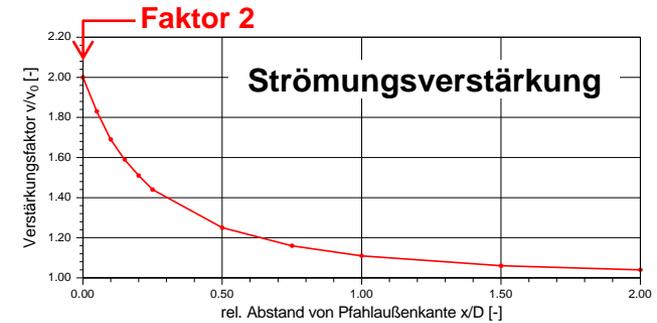
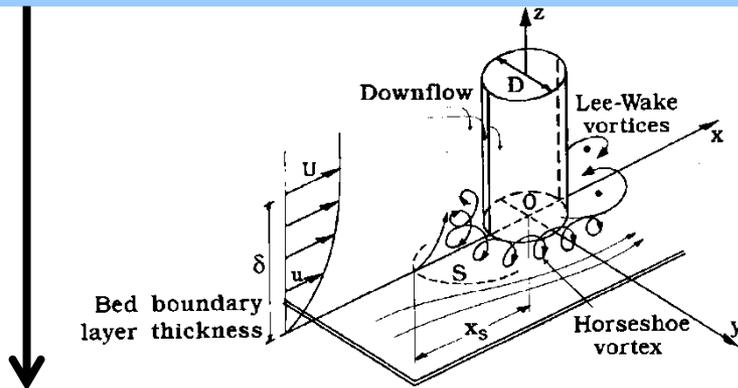
1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
3. Ermittlung der Kolktiefe
4. Kolkenschutzstrategien
- 5. Design und Auslegung des Kolk schutzes**
6. Bauverfahren und Logistik
7. Monitoring und Maintenance
8. Ausführungsvarianten des Kolk schutzes
9. Kolk und Kolk schutz an Offshore-Gründungen
-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

Design und Auslegung des Kolksschutzes

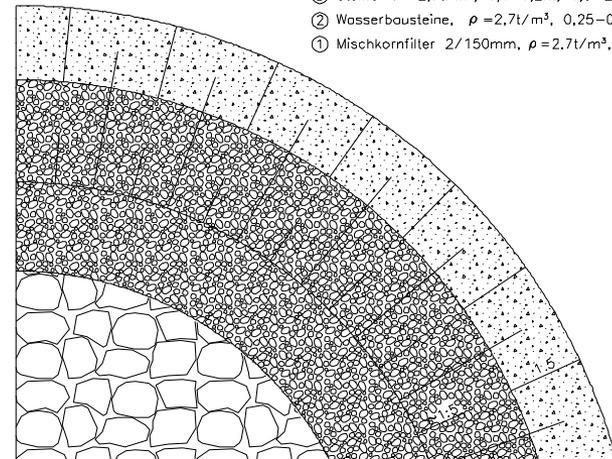
Grundprinzipien

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, $\rho = 2,7 \text{ t/m}^3$, $d = 0,40 \text{ m}$

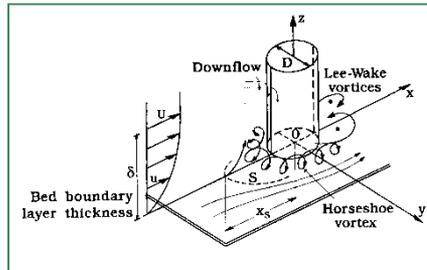


Kolksschutz

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

Design und Auslegung des Kolksschutzes

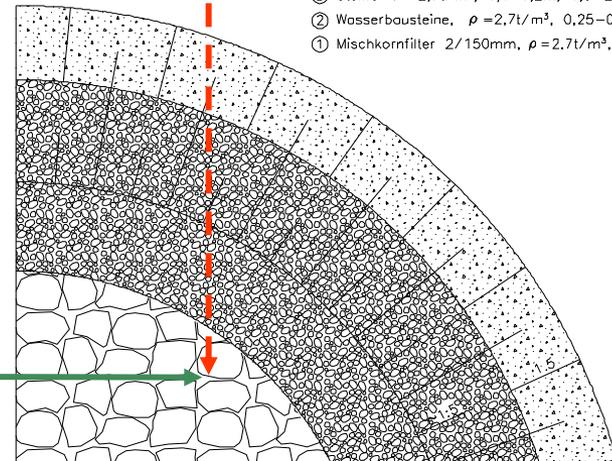
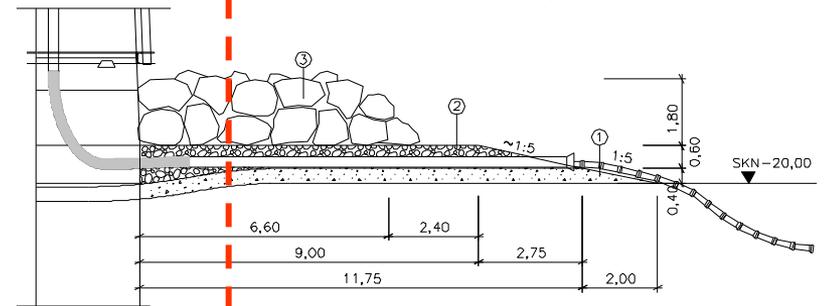
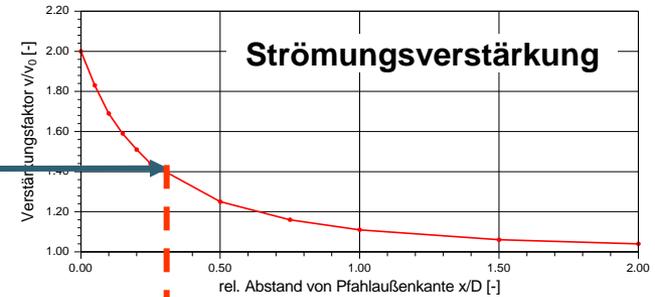
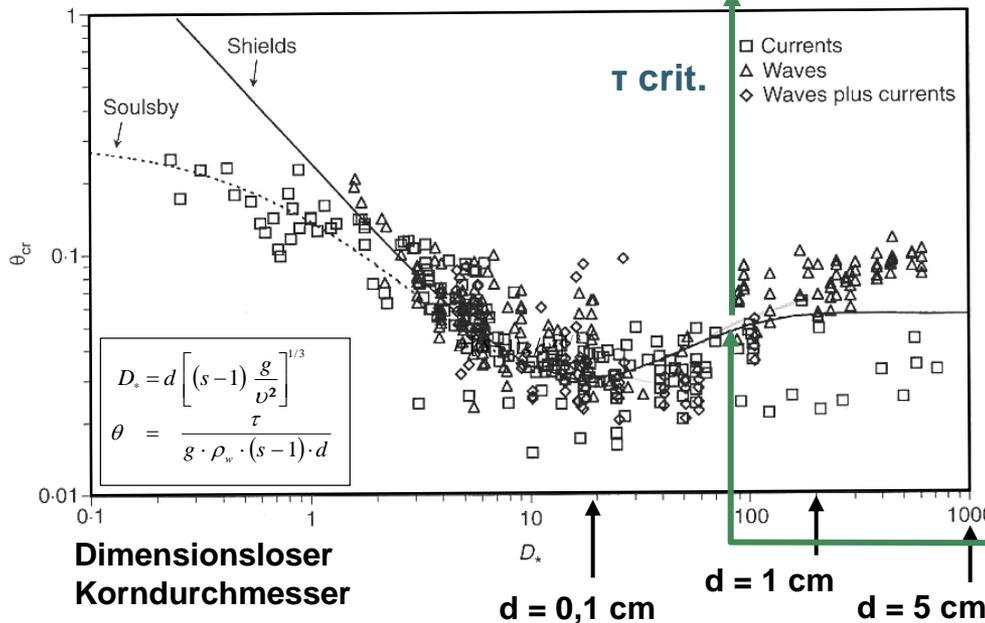
Gründungsstruktur mit mineralischem Kolksschutz



Hydraulische Belastungen

τ vorh.

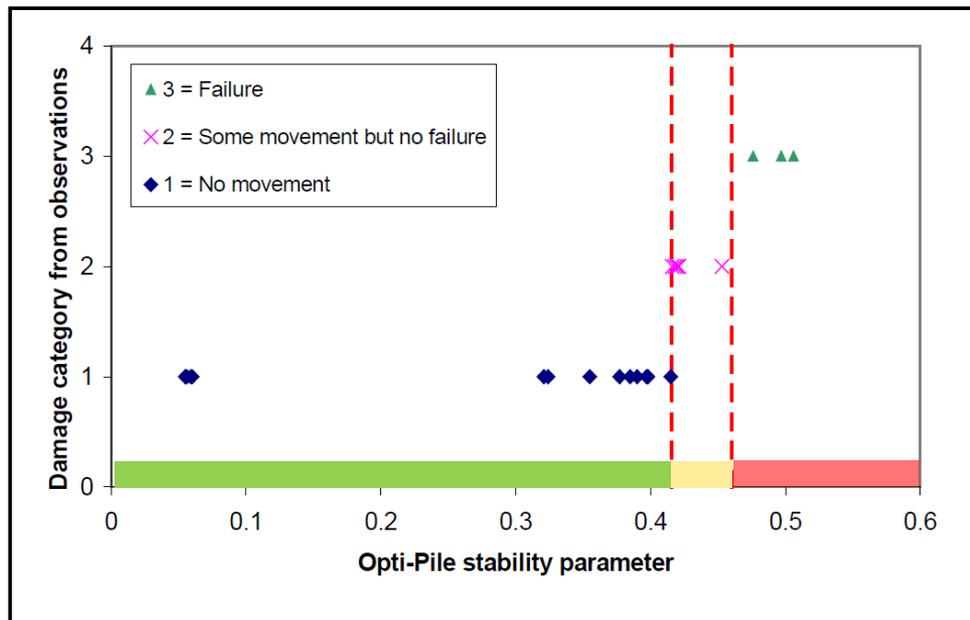
Bemessung des Steinmaterials mittels Shields-Konzept



Design und Auslegung des Kolksschutzes

Gründungsstruktur mit mineralischem Kolksschutz

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



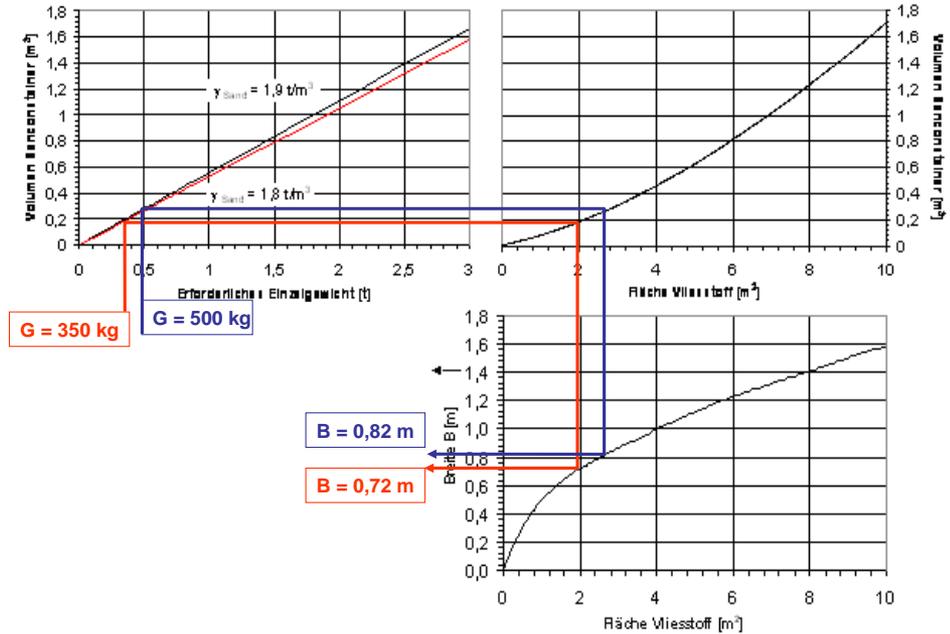
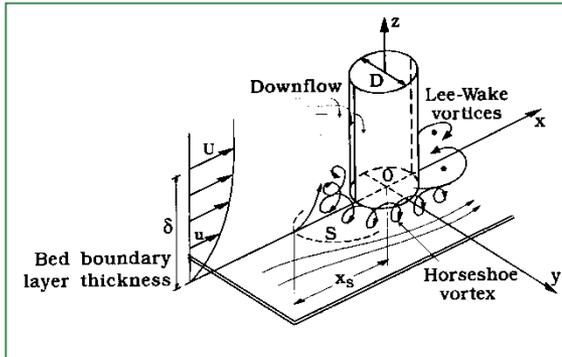
Stability Classes		
No movement at all	<	0.415
Some movement	<	0.460
Significant movement	≥	0.460

den Boon et al., 2004

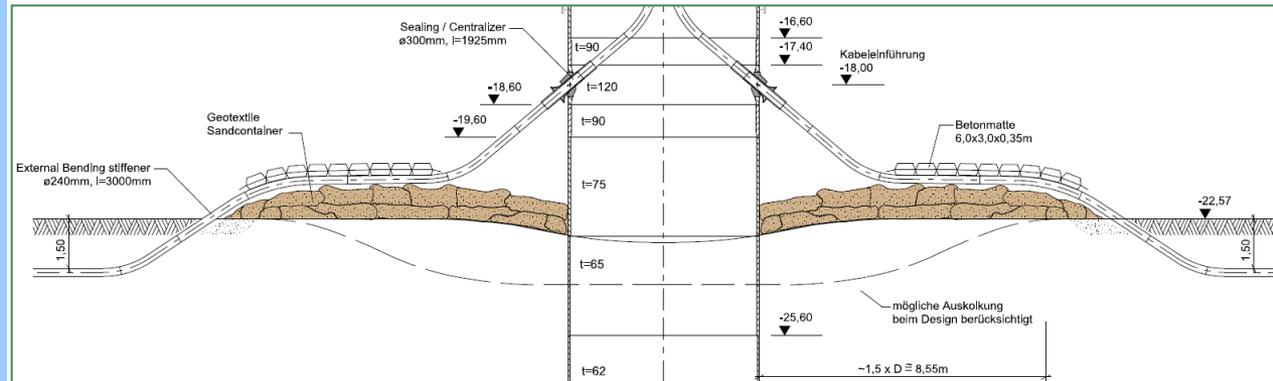
Figure 7. Damage category determined from model test photos and profiles against Opti-Pile stability parameter, $Stab$. Vertical lines are the values of $Stab_{1,2} = 0.415$ and $Stab_{2,3} = 0.460$ determined from the tests.

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



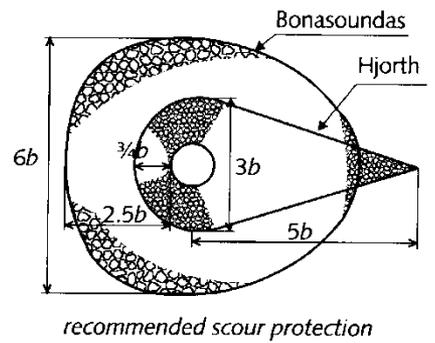
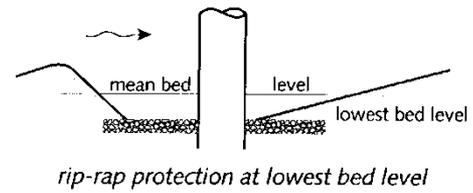
Design und Auslegung des Kolksschutzes

Empfehlungen (Auszug)

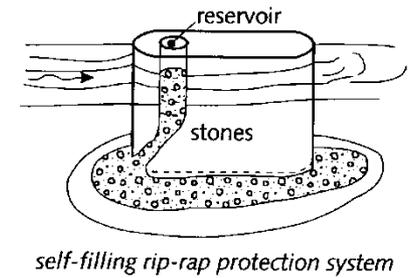
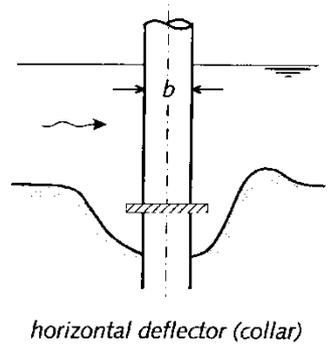
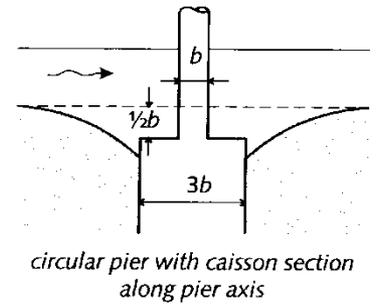
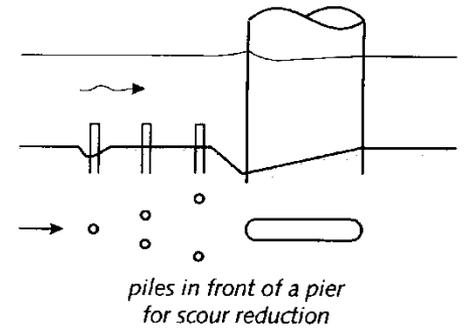
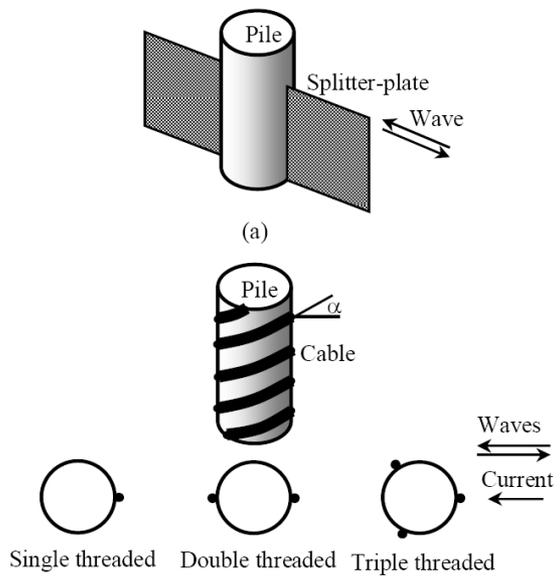
für den Monopile

Whitehouse (1998)

aus Hoffmans und Verheij (1997)

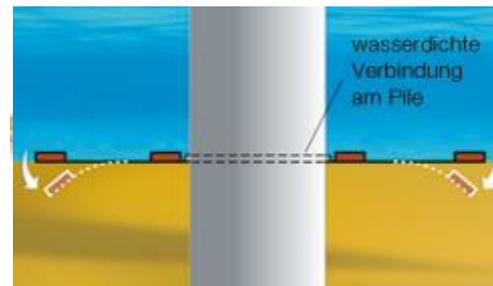


Dey, Sumer und Fredsøe (2006)



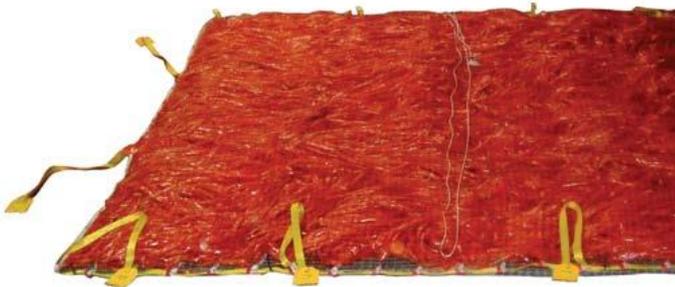
Design und Auslegung des Kolksschutzes

Kolkschutzmaterialien I

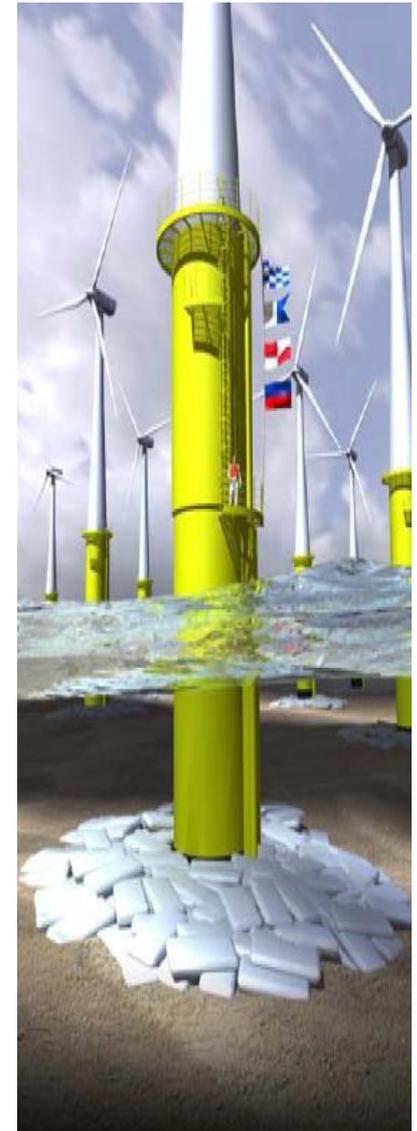


Design und Auslegung des Kolksschutzes

Kolkschutzmaterialien II



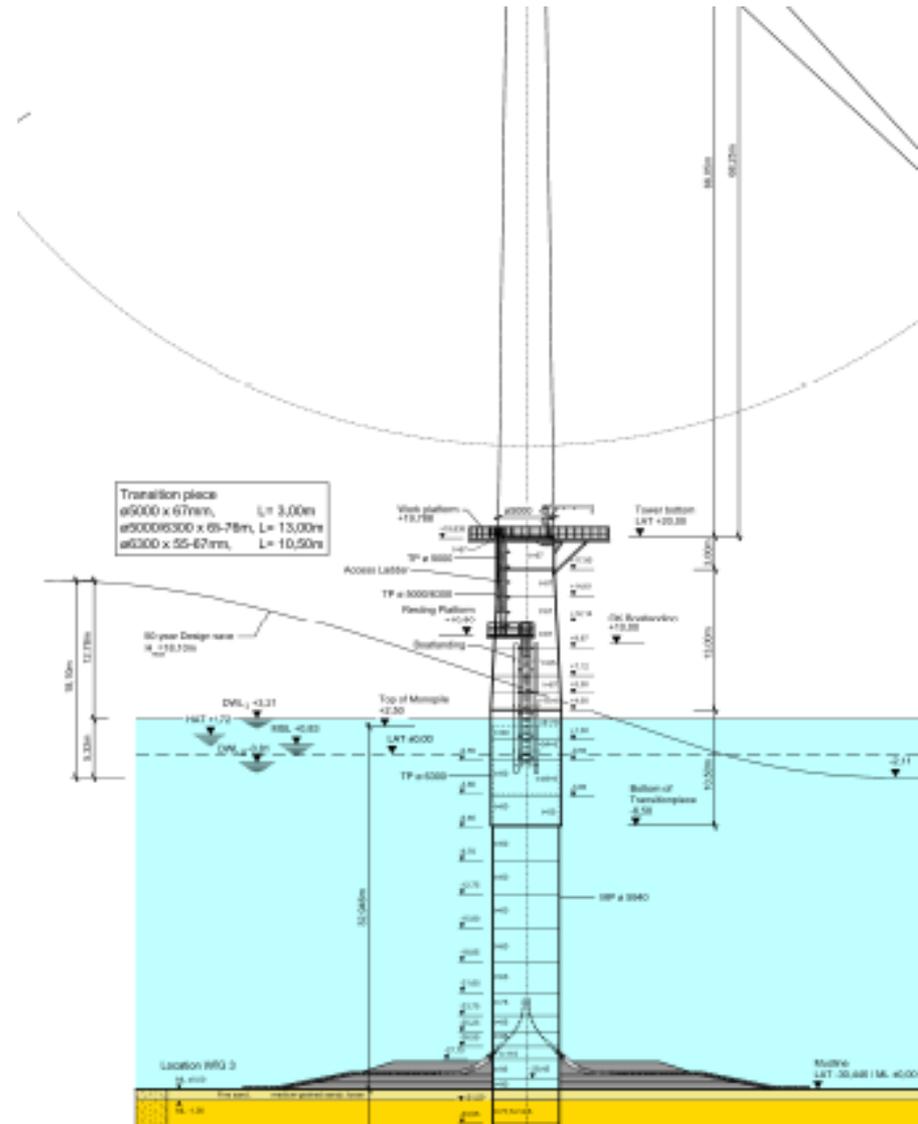
sscsystems



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

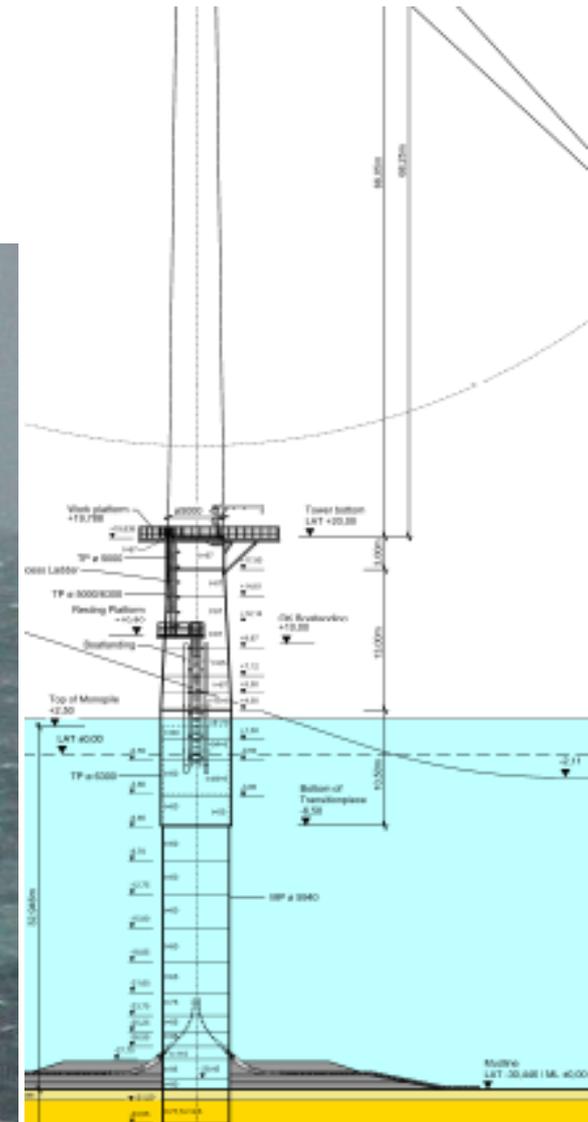


1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
3. Ermittlung der Kolktiefe
4. Kolkschutzstrategien
5. Design und Auslegung des Kolkschutzes
- 6. Bauverfahren und Logistik**
7. Monitoring und Maintenance
8. Ausführungsvarianten des Kolkschutzes
9. Kolk und Kolkschutz an Offshore-Gründungen
- 10.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

Bauverfahren und Logistik

Baugeräte und Logistik

Bauverfahren des Kolkschutzes und der Einsatz der Baugeräte ist abhängig von



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

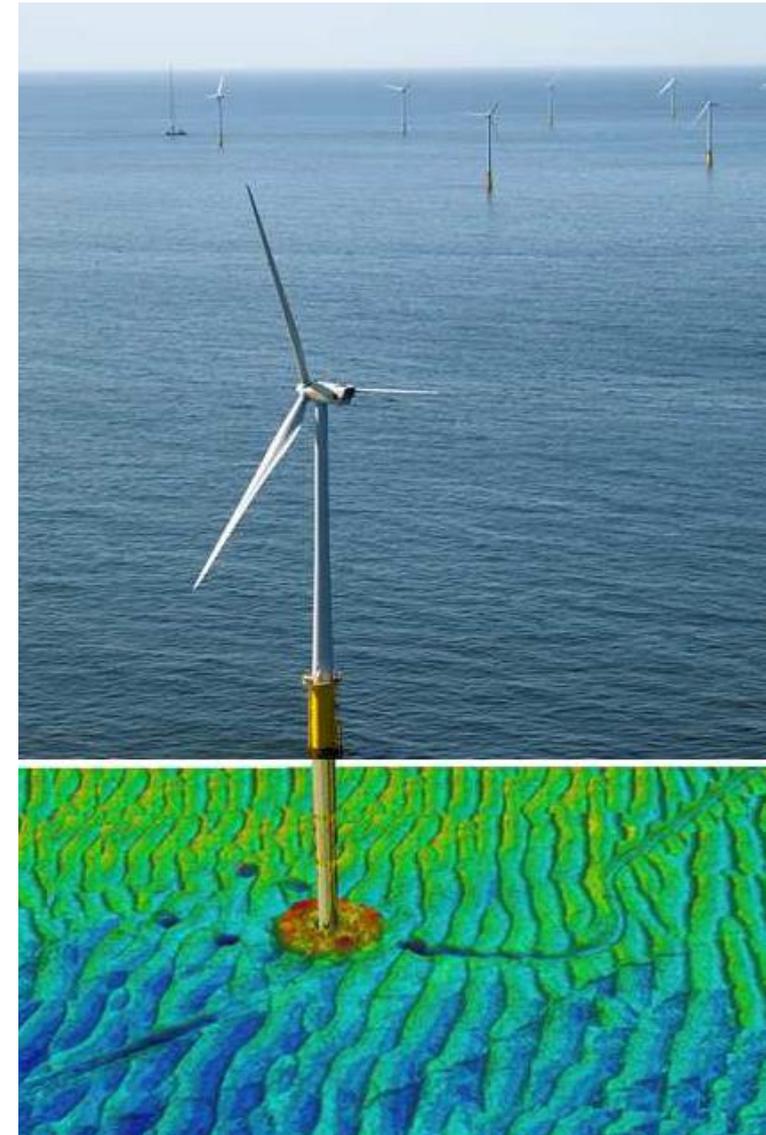
Empfehlungen

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

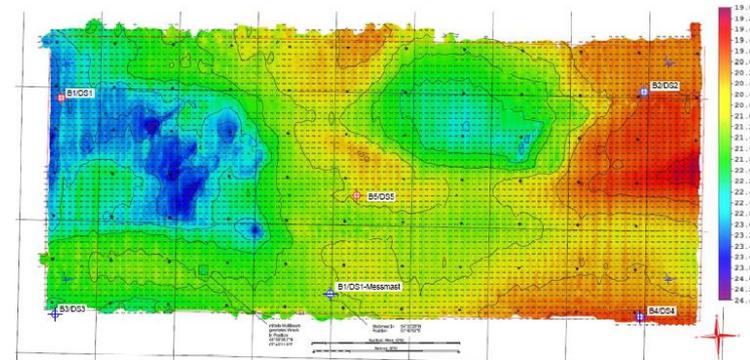
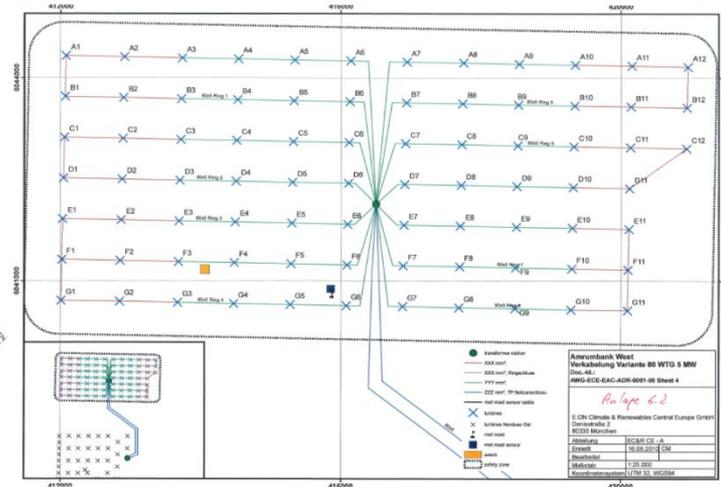
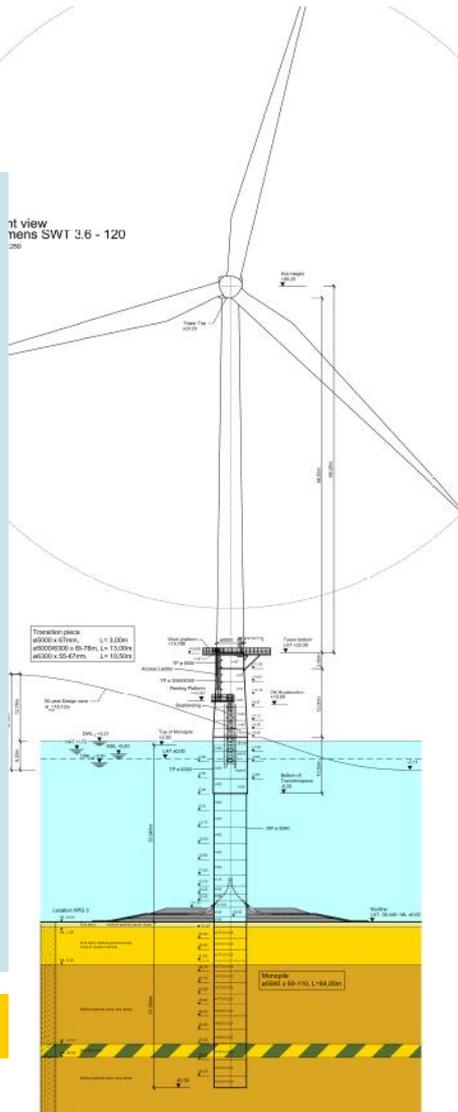
1 – 3 Jahre

- 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



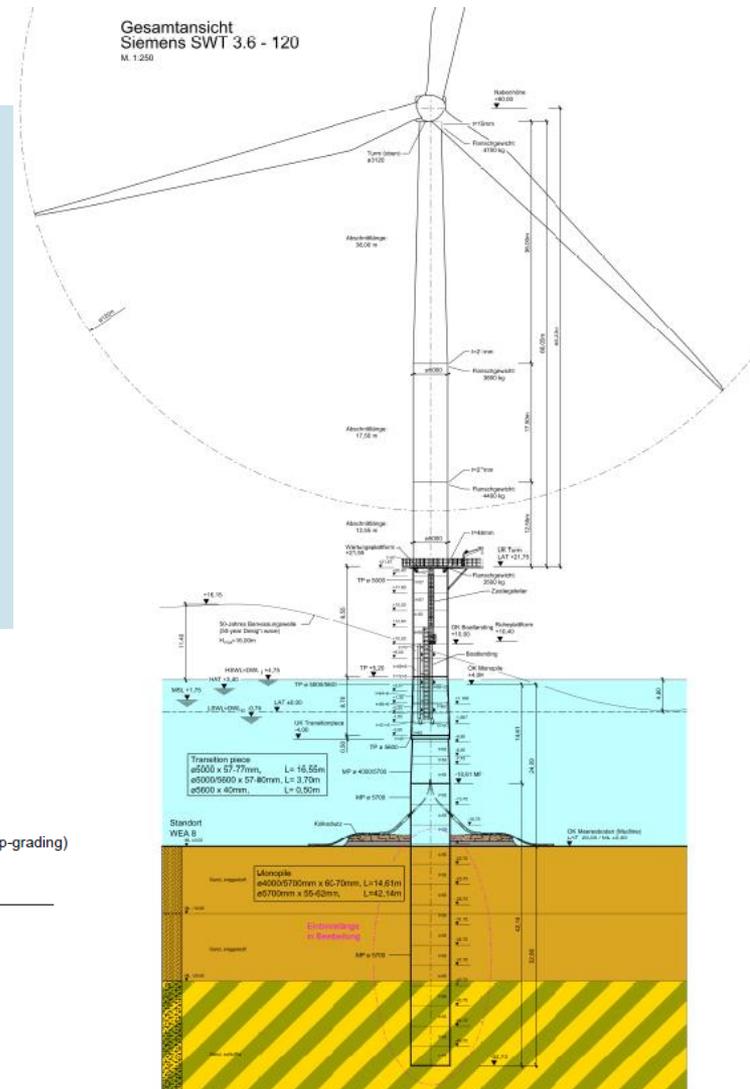
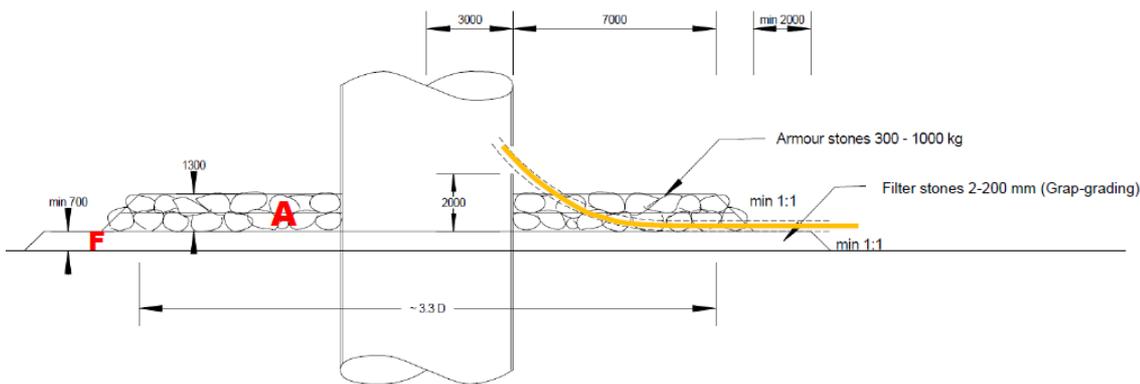
1. Einleitung
2. Kolkprozesse und Einflussparameter
3. Ermittlung der Kolktiefe
4. Kolkenschutzstrategien
5. Design und Auslegung des Kolk schutzes
6. Bauverfahren und Logistik
7. Monitoring und Maintenance
- 8. Ausführungsvarianten des Kolk schutzes**
9. Kolk und Kolk schutz an Offshore-Gründungen
-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

Ausführung des Kolksschutzes

Ausführungsvariante – mineralischer Kolksschutz

Hinweise zum mineralischen Kolksschutz

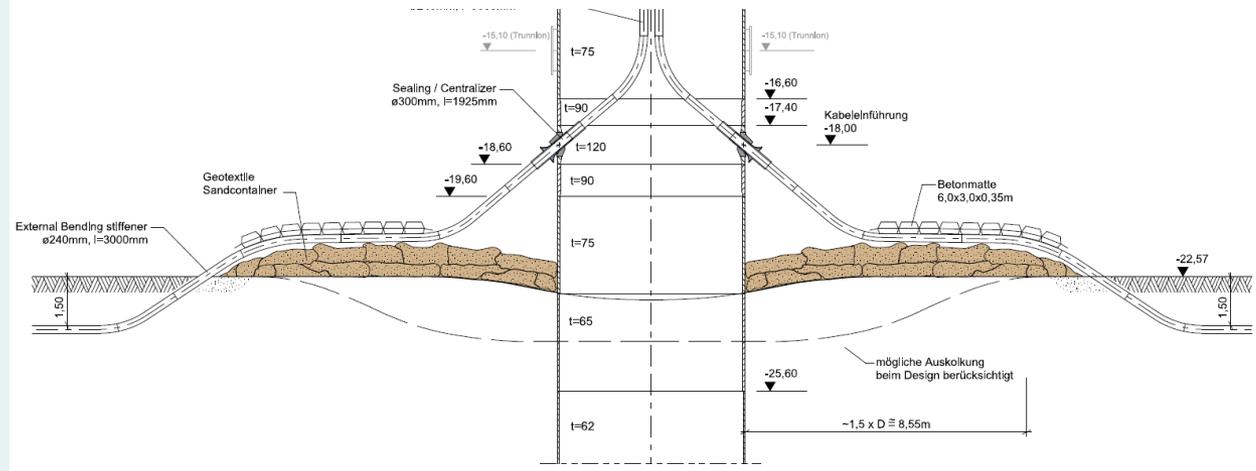
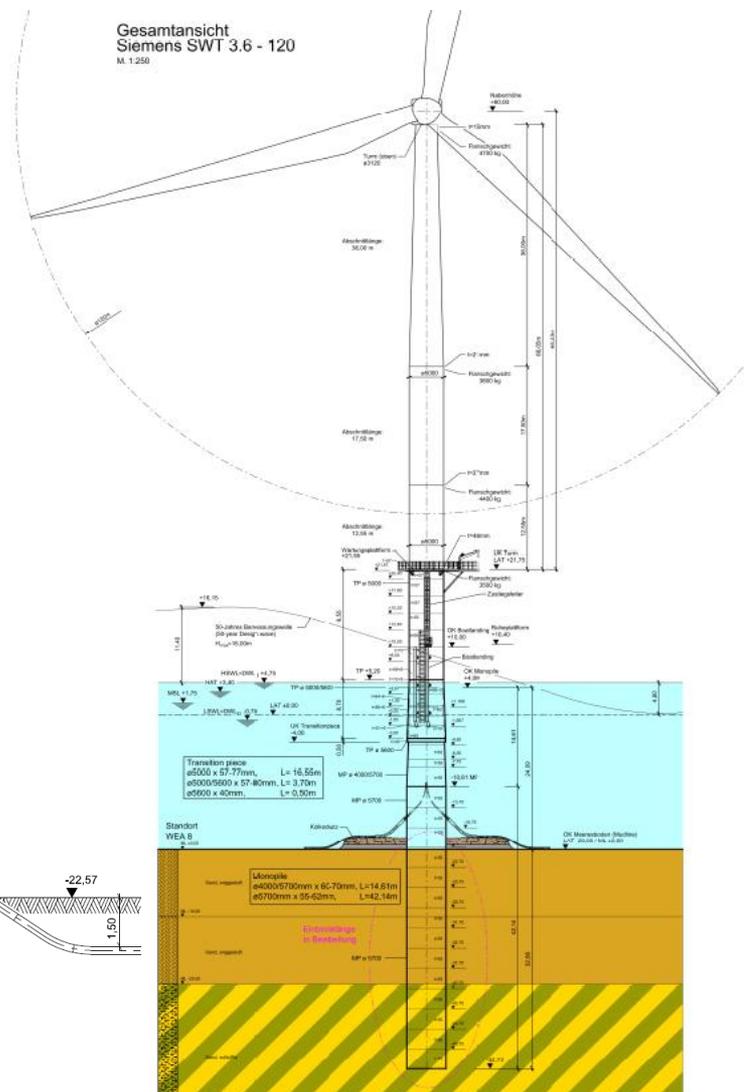
- i.d.R. zweilagiger Aufbau (Filter + Deckschicht)
- Filterlage temporär lagestabil
- komplexer Bauablauf (mehrfaches Anfahren an der Einzellokation)
- vergleichsweise große Bauhöhe
- hoher Materialeinsatz
- hohe Erosionsstabilität



Ausführung des Kolkschutzes

Ausführungsvariante – geotextile Sandcontainer

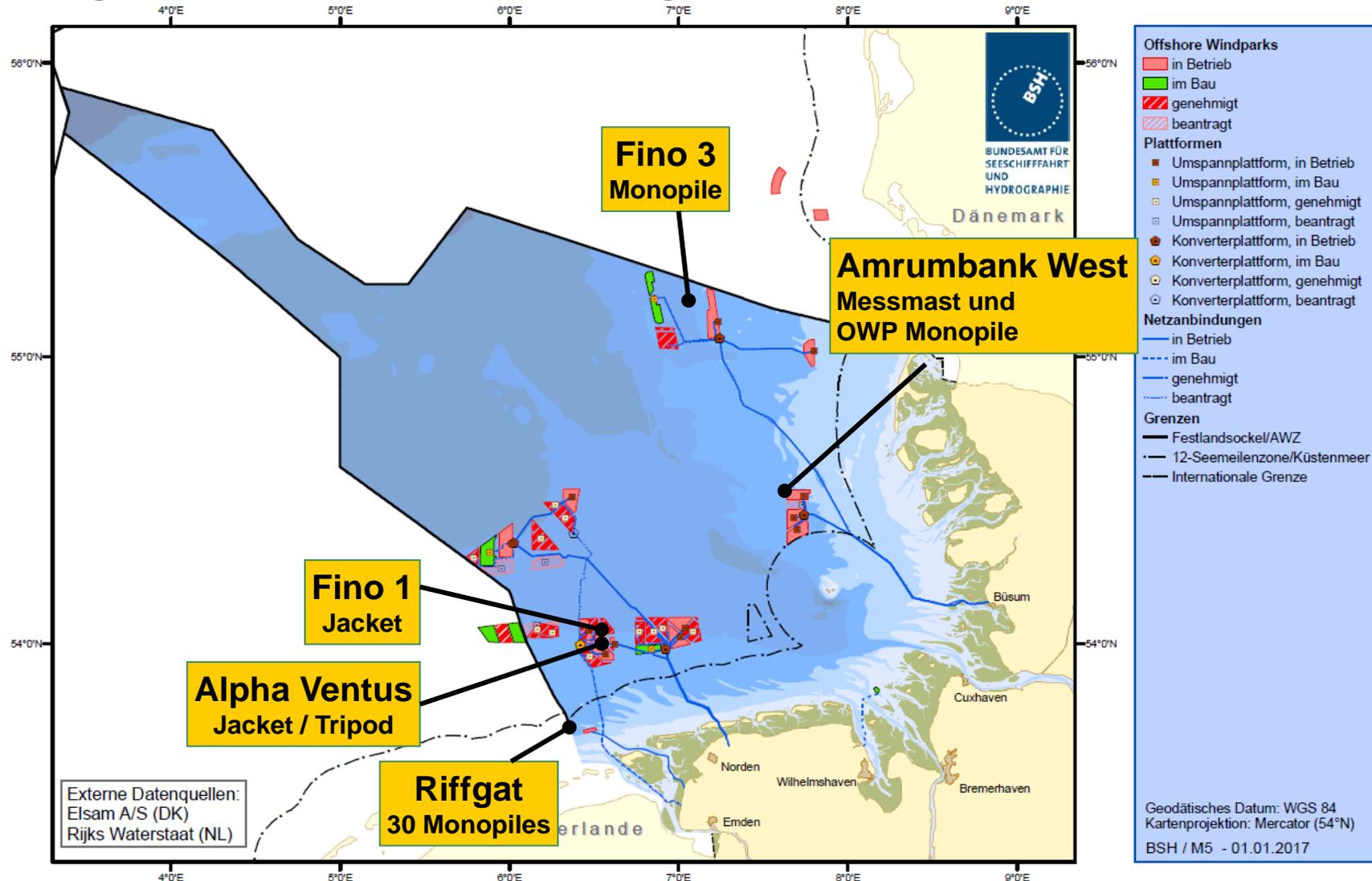
- ### Vorteile mit geotextilen Sandcontainern
- Kombinierte Filter- und Deckschicht
 - Einfache Herstellung des Kolkschutzes
 - Vereinfachung des Bauablaufes
 - Durchrammbarkeit
 - Schutz der Gründungsstruktur
 - Geringe Bauhöhe
 - Hohe Erosionsstabilität
 - Flexible Anpassung



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

Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

Erfahrungen im Bereich Offshore-Windenergie in Deutschland

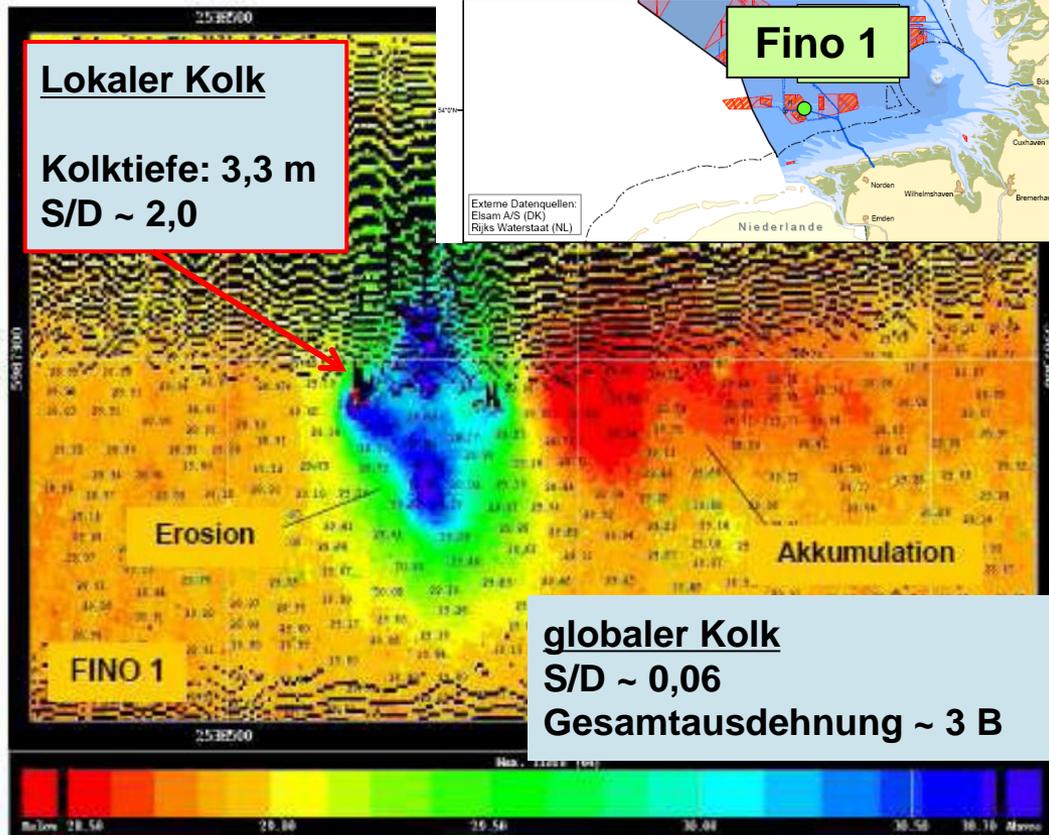
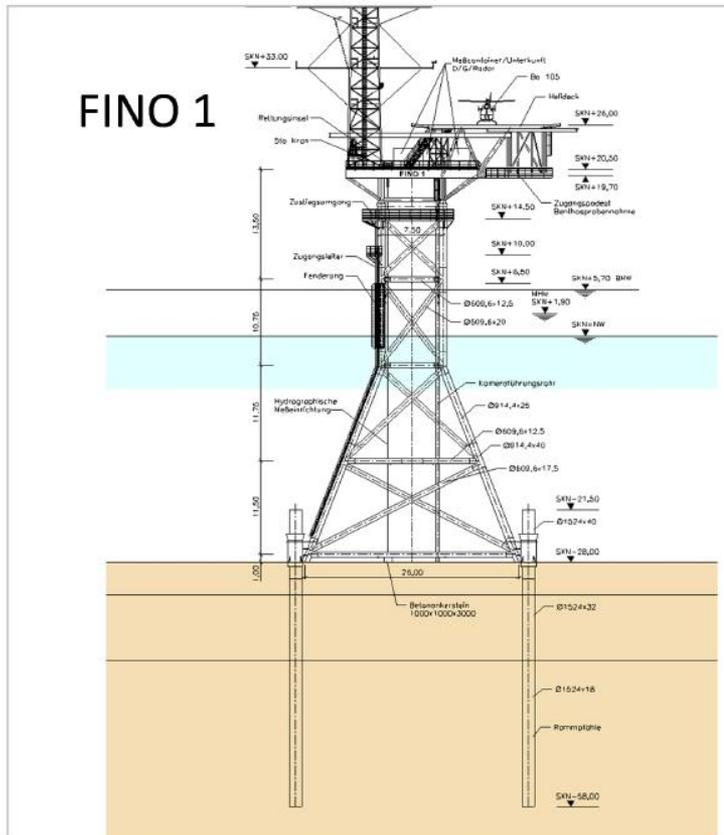
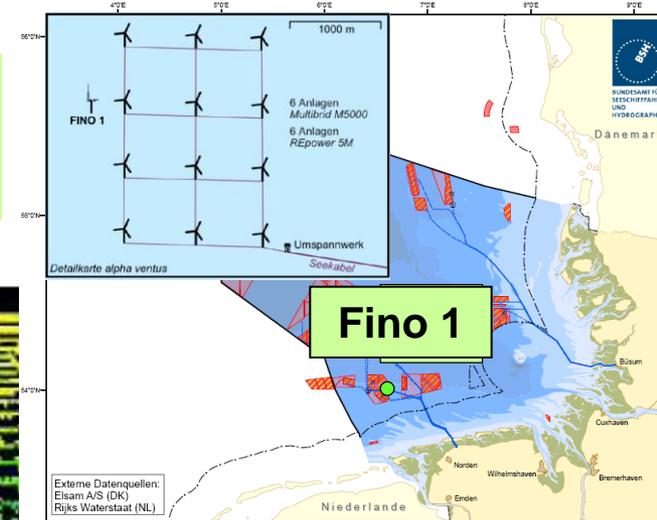


Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

Erfahrungen Kolk – Fino 1 - Jacket

Kenndaten FINO 1

- **Betrieb seit 2003**
- **kein Kolkenschutz vorhanden**



Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

Erfahrungen Kolk – Alpha Ventus - Jacket

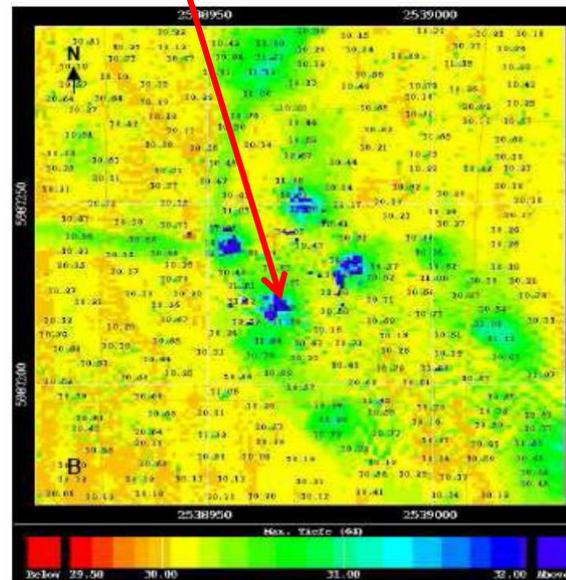
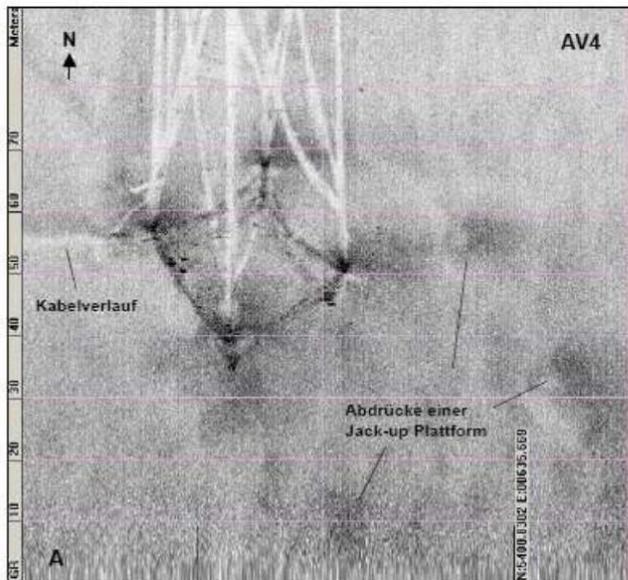
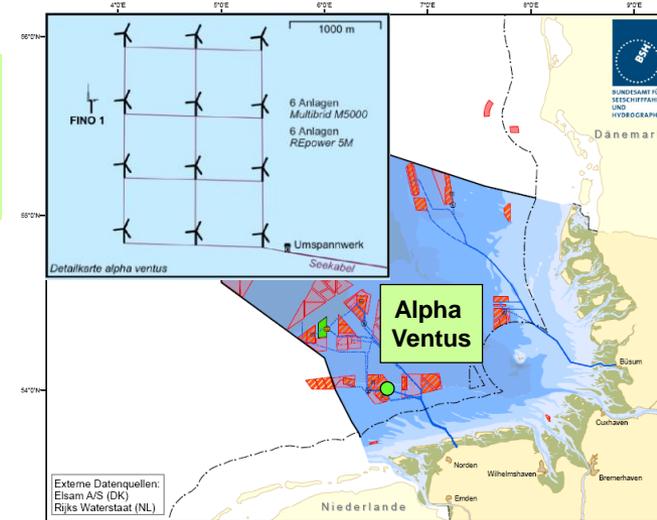


Kenndaten Windpark Alpha Ventus

- 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

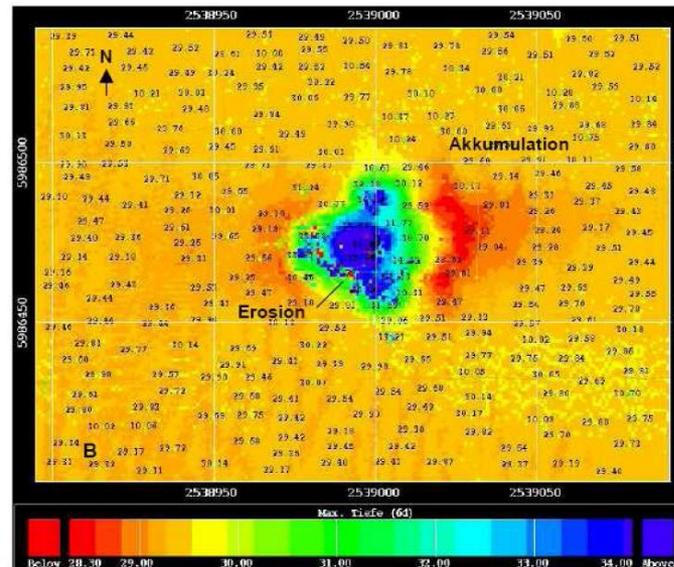
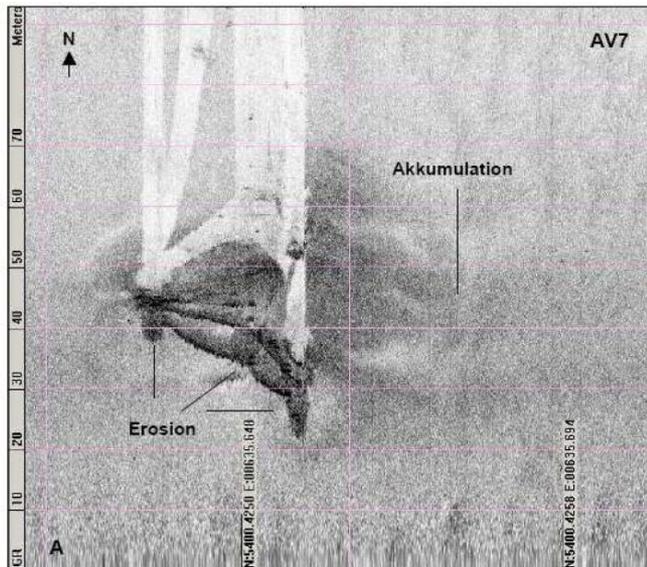
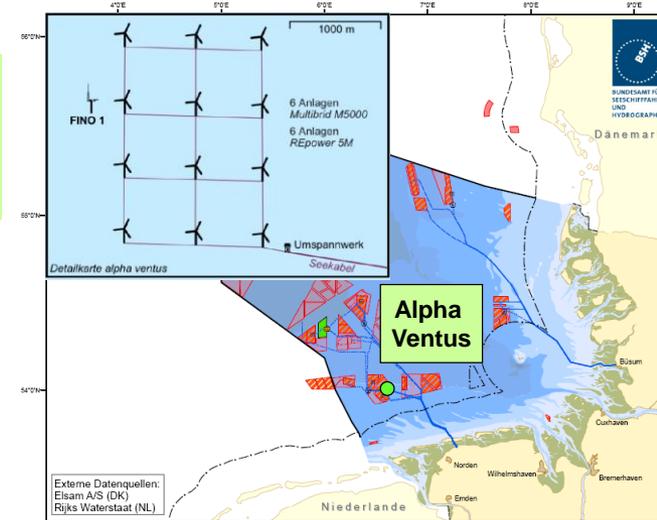


Kenndaten Windpark Alpha Ventus

- Betrieb seit 2009
- kein Kolkchutz vorhanden

Tripod

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

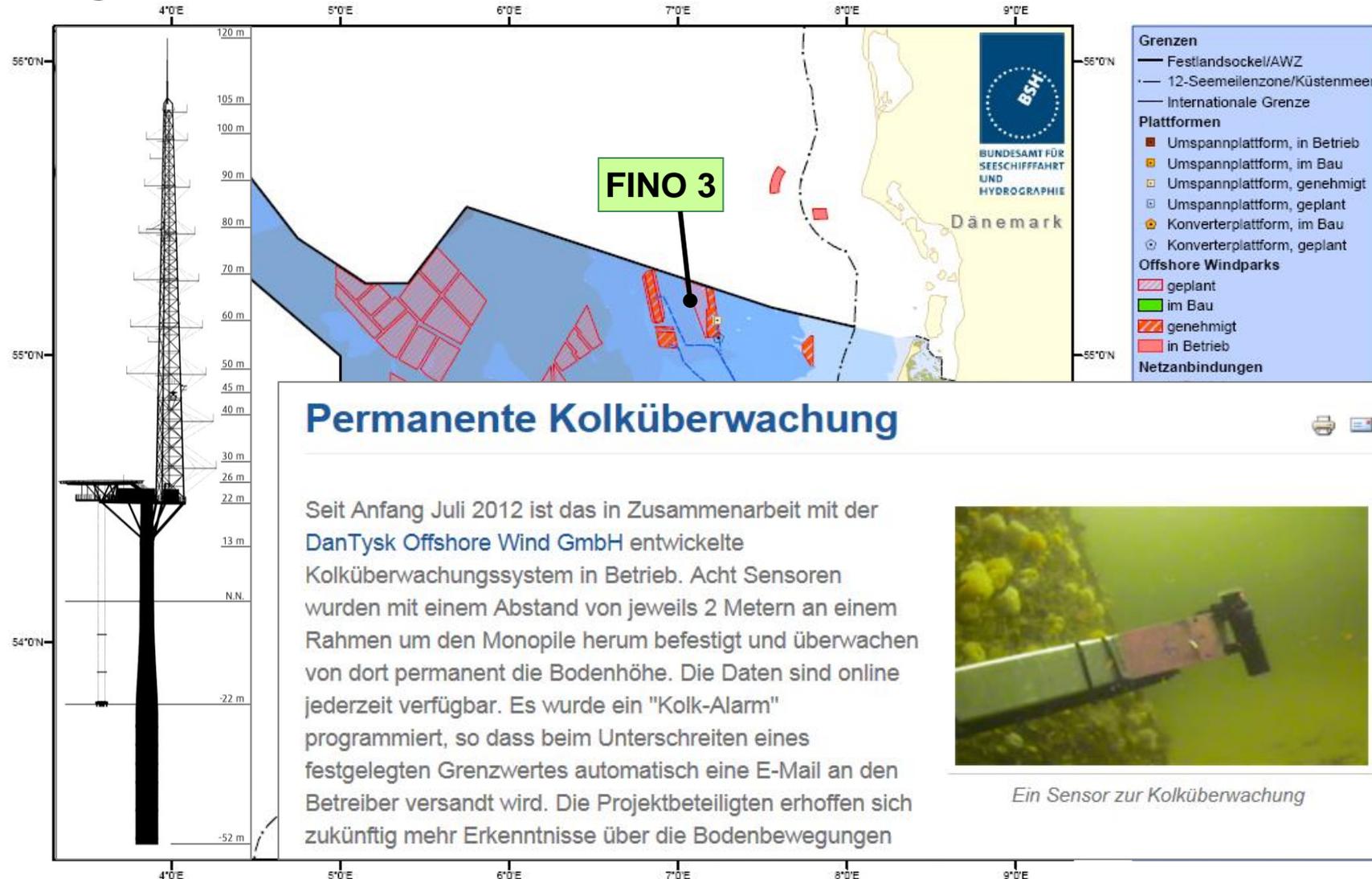


Quelle:

BSH, Fahrtbericht,
 # Wega 117

Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

Erfahrungen Kolk – FINO 3

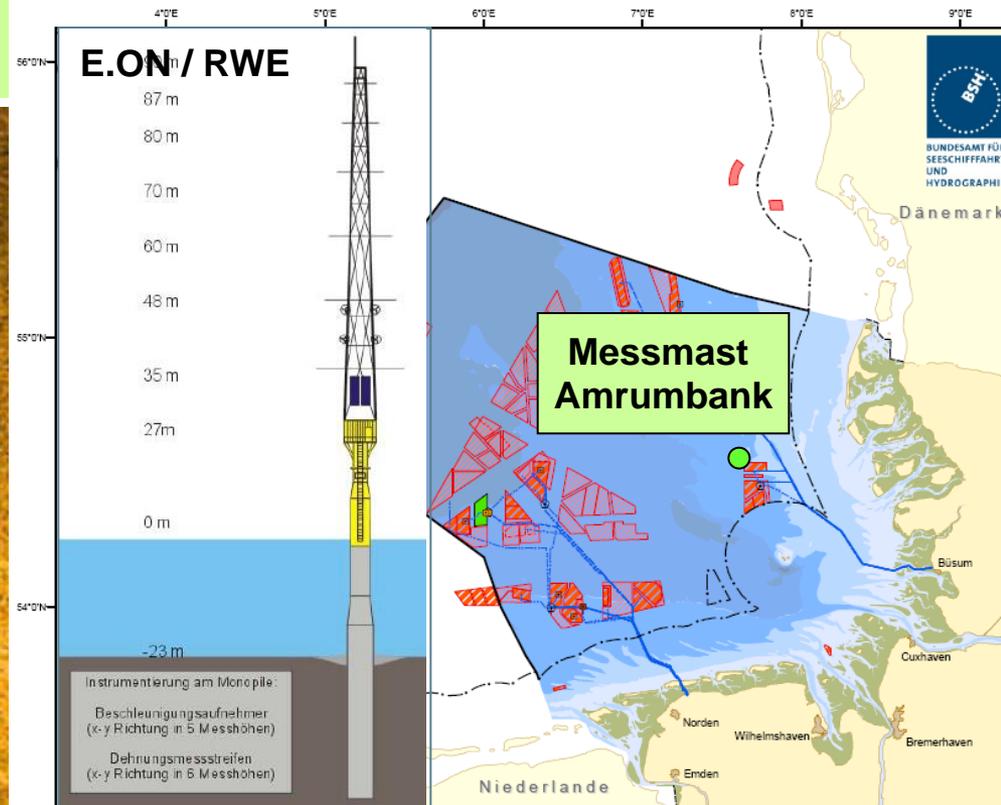
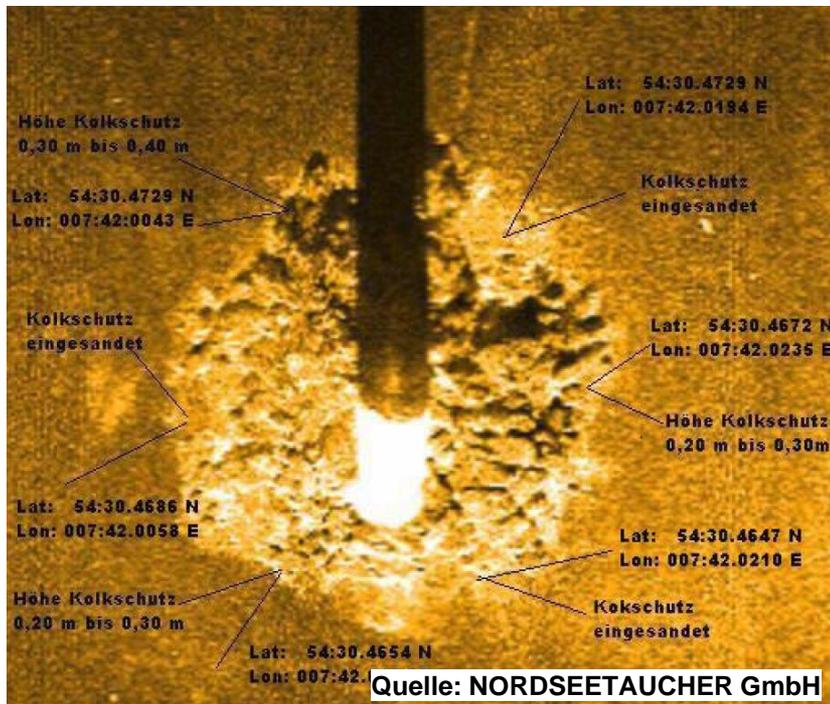


Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

Erfahrungen Kolkenschutz – Messmast Amrumbank

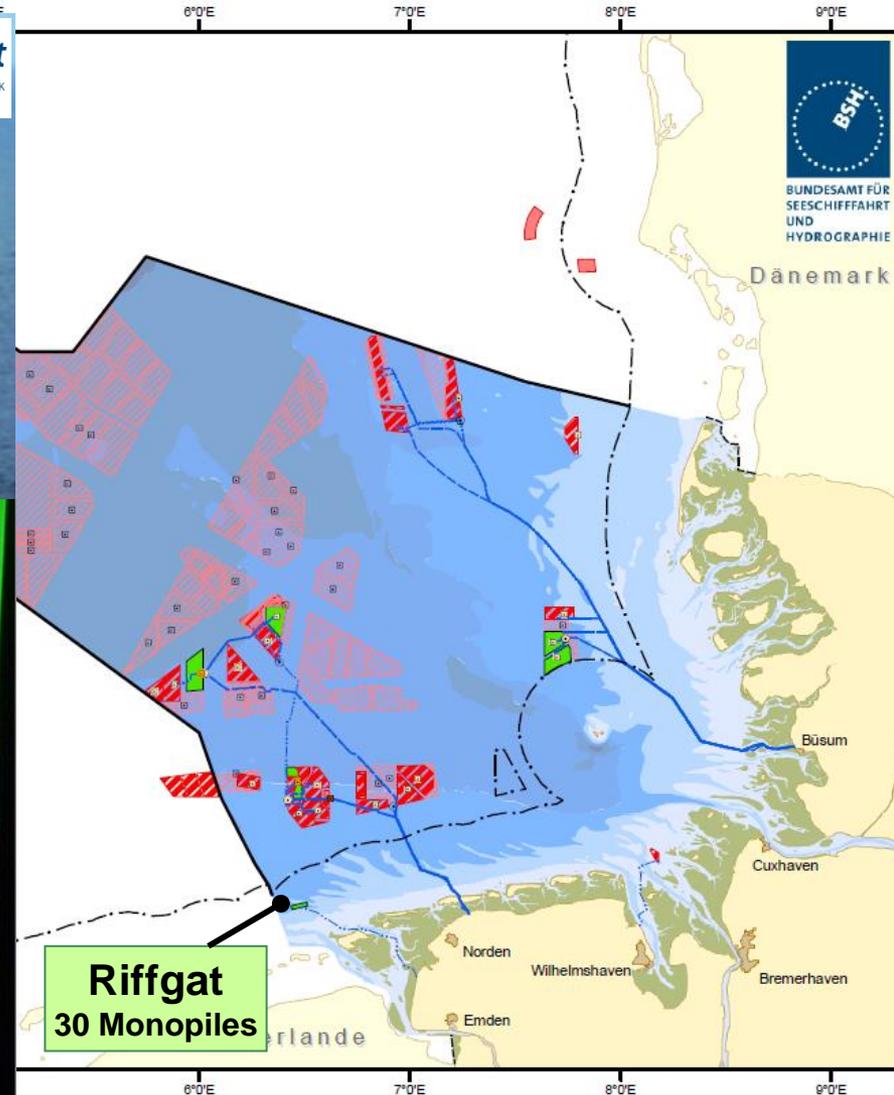
Kenndaten Messmast Amrumbank

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



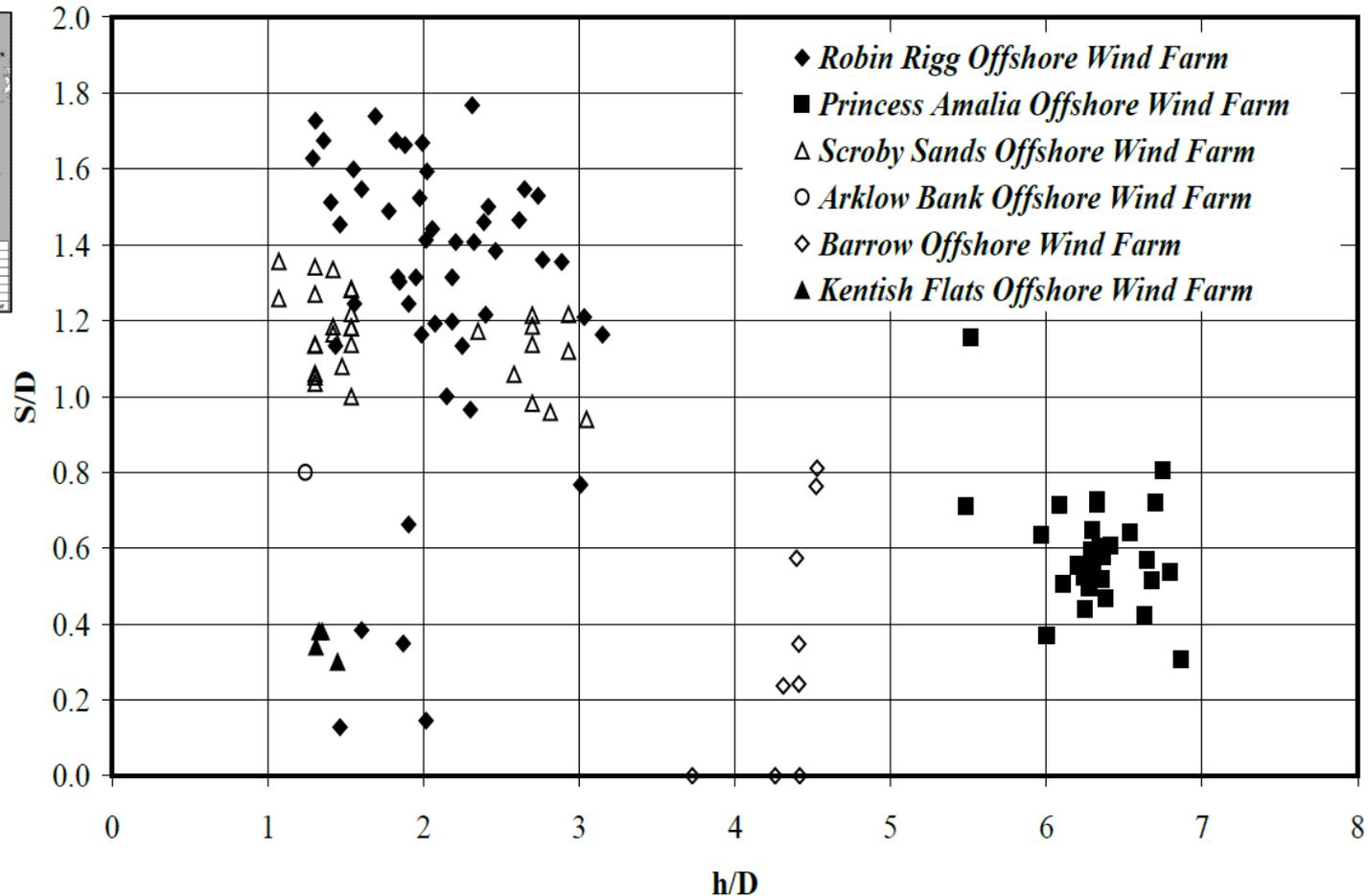
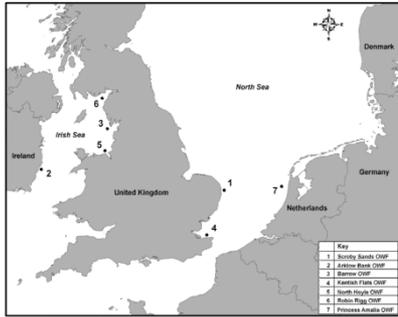
Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

Erfahrungen – Riffgat



Kolk und Kolkenschutz an Offshore-Gründungen

Erfahrungen in UK



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**

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

