

Uwe Tzschach (BAW Hamburg)  
Mussie Kidane (BAW Hamburg)  
Thomas Jahnke (BSH)

# Offshore Windenergieanlagen und die Beobachtungsmethode

BAWKolloquium: Beobachtungsmethode / Monitoring in der Geotechnik

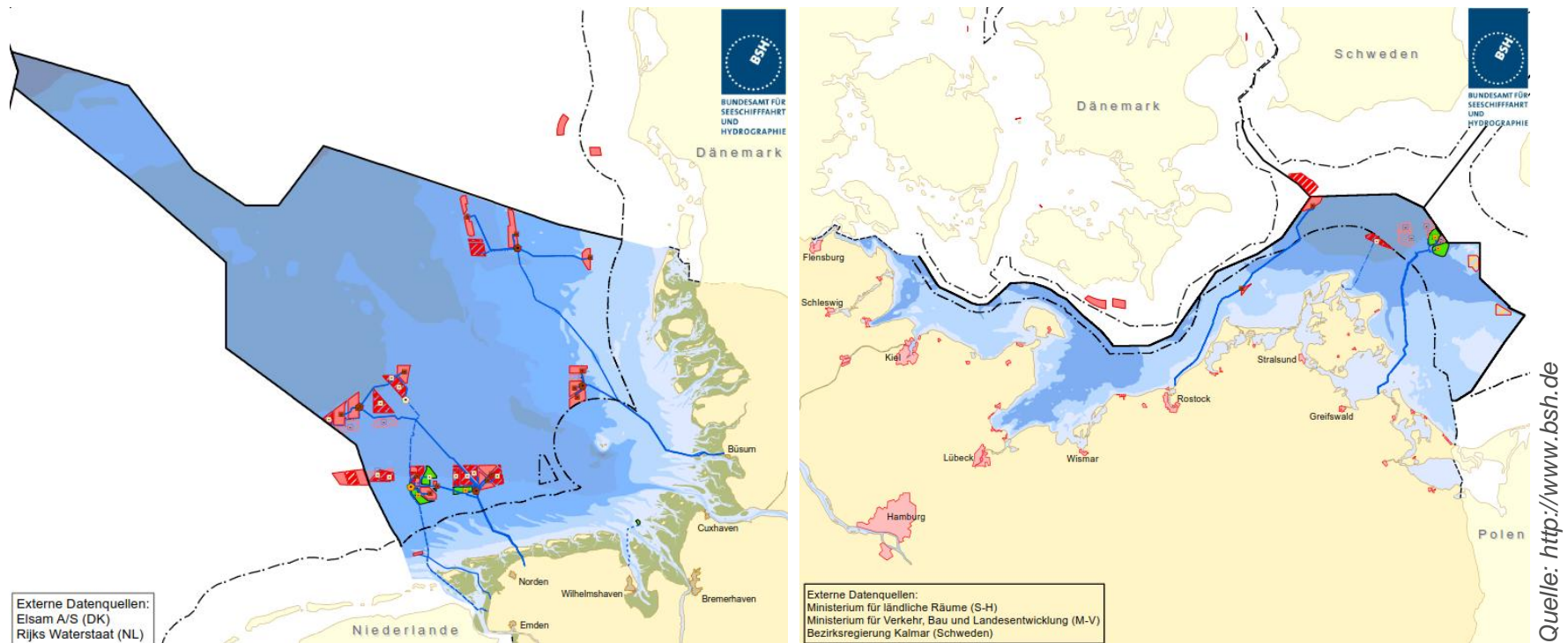
Hamburg, 26. September 2017

---

## Inhalt

1. Allgemeine Rahmenbedingungen
2. Technische Randbedingungen im Bereich Offshore-Wind
3. Beobachtungsmethode allgemein
4. Beobachtungsmethode im Bereich Offshore-Wind

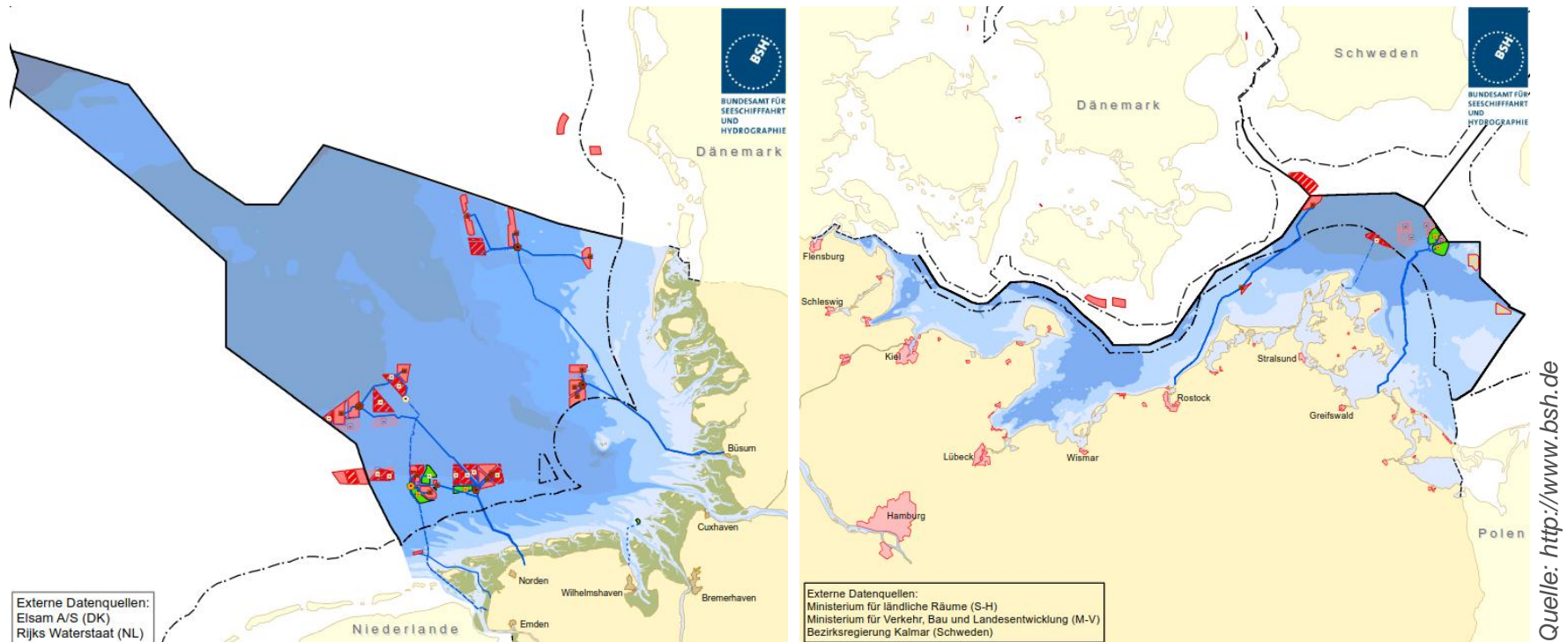
# 1. Allgemeine Rahmenbedingungen



- § **Küstenmeer:**
- Innerhalb der 12 sm – Zone
  - Bundesländer zuständig

- § **AWZ:**
- Ausschließliche Wirtschaftszone bis max. 200 sm (→ Hohe See)
  - BSH für Wahrung öffentlicher Interessen zuständig

# 1. Allgemeine Rahmenbedingungen

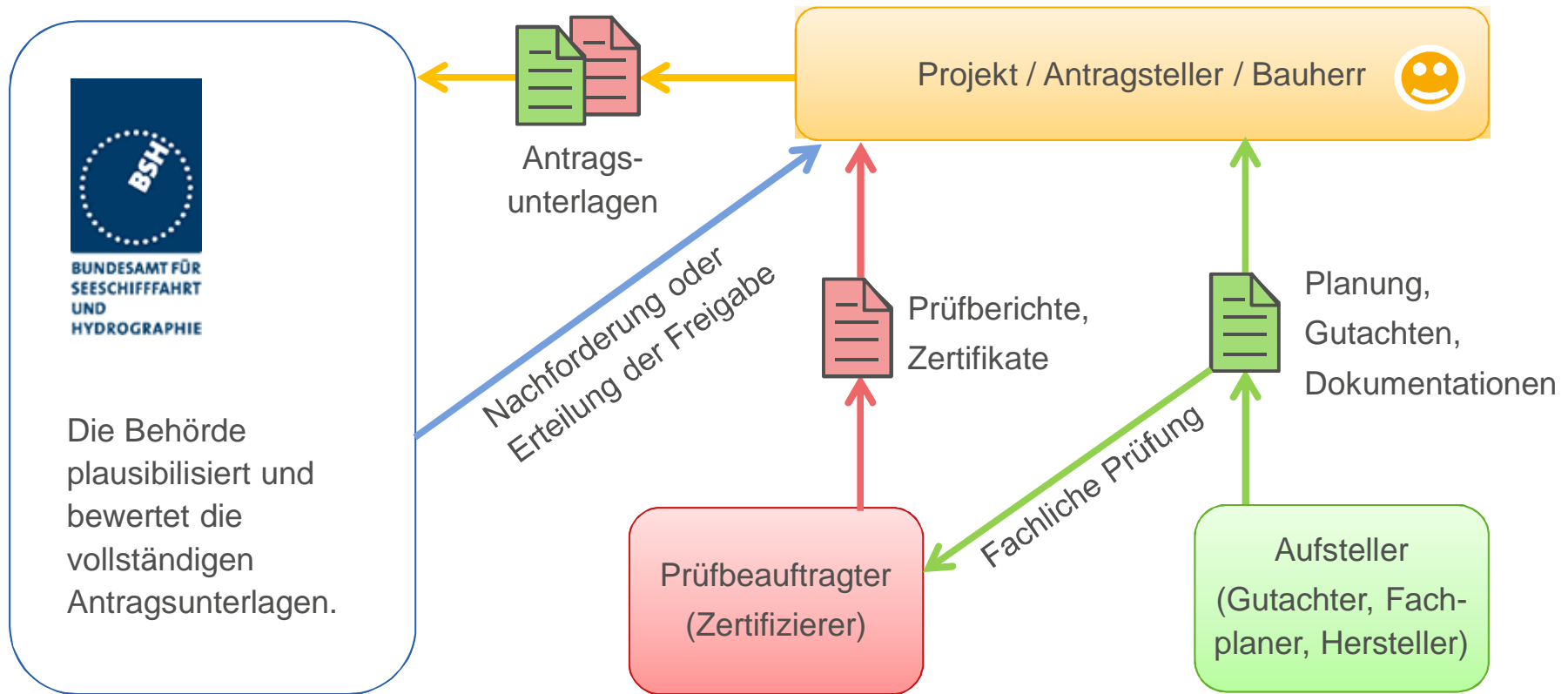


## § Aufgaben des BSH u. a.:

- Sicherheit u. Leichtigkeit des Schiffsverkehrs
- Raumordnung, Umweltverträglichkeit, (Rohstoffsicherung, Meeresforschung)
- Planfeststellungsverfahren für Offshore Windparks

# 1. Allgemeine Rahmenbedingungen

§ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) ist Planfeststellungsbehörde



# 1. Allgemeine Rahmenbedingungen

---

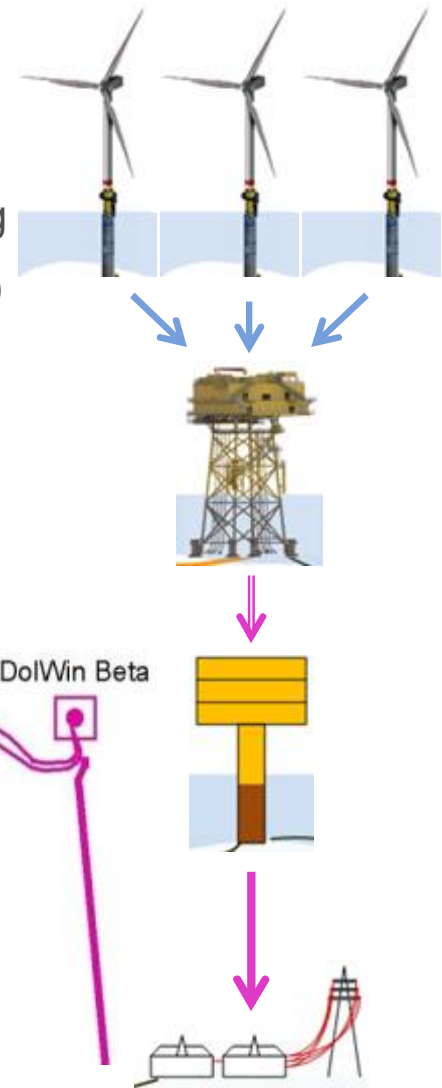
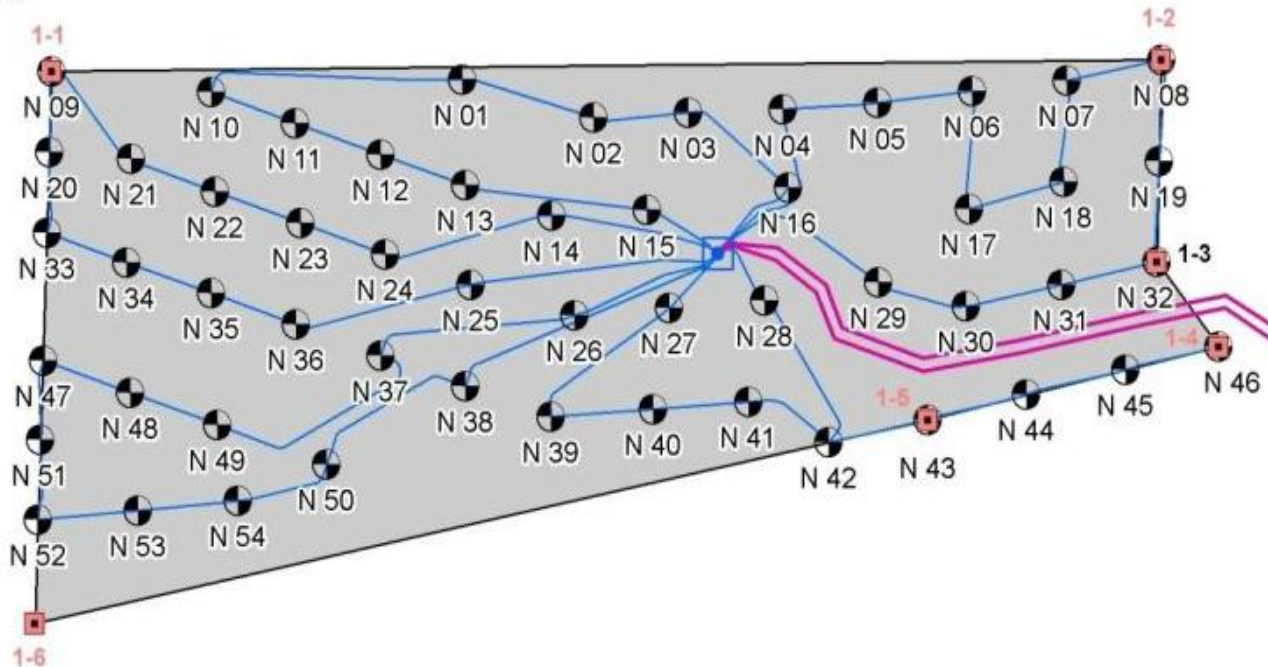
- § Fachbehörden wie die BAW begutachten und bewerten die eingereichten Unterlagen (keine Nachprüfung) und geben Empfehlungen zur Freigabe.
  
- § Außer der BAW unterstützen das BSH noch die BAM, das BMUB / BfN, und auch die WSV.
  
- § Themenschwerpunkte der BAW-DH:
  - Wasserbau: Standortbedingungen (Strömung, Seegang und Kolkbildung)
  - Geotechnik: Baugrunderkundung und Bemessung der Gründungskonstruktion
  
- § Die BAW berät das BSH darüber hinaus in weiteren Fragen zu diesen Themen, wie Standardisierung, Überführung in DIN Normen, etc.



# 1. Allgemeine Rahmenbedingungen

## § typischer Aufbau eines Windparks:

- Offshore Windenergieanlagen: 80% Monopfähle als Gründung
- Umspannplattform: Jacket Gründungen (lastverteilt. Fachwerk)
- Konverterplattform: Jacket Gründungen



Quelle: <http://www.nordseeone.com/>

## 2. Technische Randbedingungen

---

### § Baugrund

- Offshore Baugrunderkundung teuer und schwierig (z. B. Wetterbedingungen)
- Große Erkundungsgebiete: kombinierte geophys. und geotech. Erkundung
- Große Erkundungstiefen bei großen Wassertiefen
- Sehr große Lagerungsdichten (z. B. Spitzendrücke im Sand von  $q_c > 60 \text{ MN/m}^2$ )
- Besonderer Baugrund (Kreide, Muschel- und Sandbänke)
- Spezielle Offshore-Erkundungsverfahren (z. B. Sondierspitzen, Bohrdurchmesser)
- Verhalten unter zyklischen Lasten erfordert entsprechende Untersuchungen

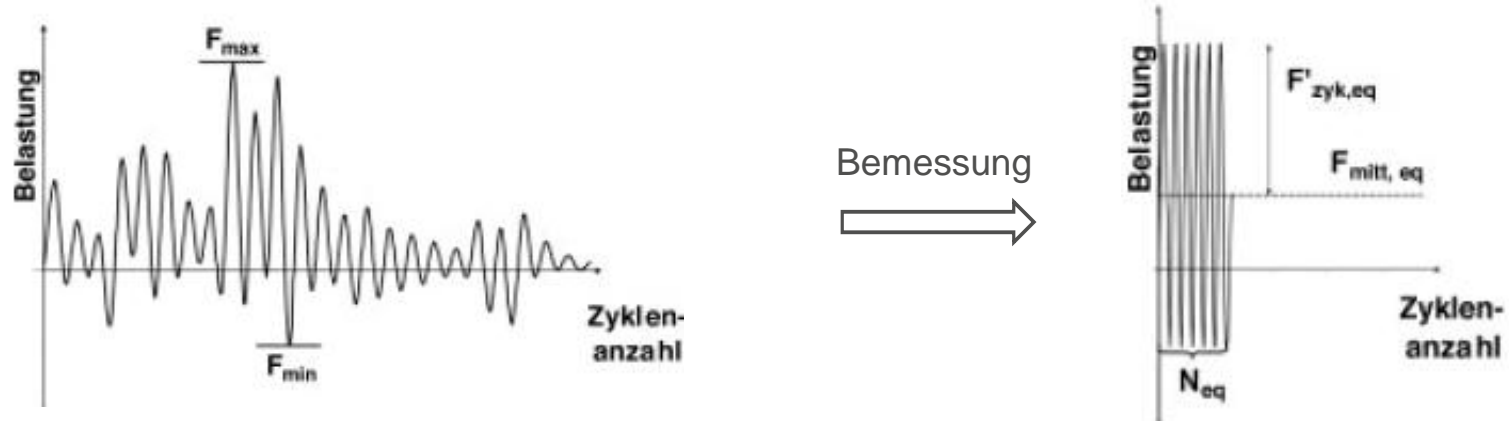


## 2. Technische Randbedingungen

### § Baugrund

### § Belastung

- Vergleichsweise geringes Eigenwicht und statische Lasten der Bauwerke
- Große dynamische Belastungen (Wind, Welle und Strömung, Betriebszustände)
- Sehr unregelmäßige resultierende Belastungsspektren  $\Rightarrow$  äquivalente Belastung



Quelle: EA „Pfähle“ (2012)

- Ereignisse mit unterschiedlichen Richtungen, Größen und Wiederkehrhäufigkeiten
- Außerdem: Eis, mariner Bewuchs, Kolk, Schiffsstoß

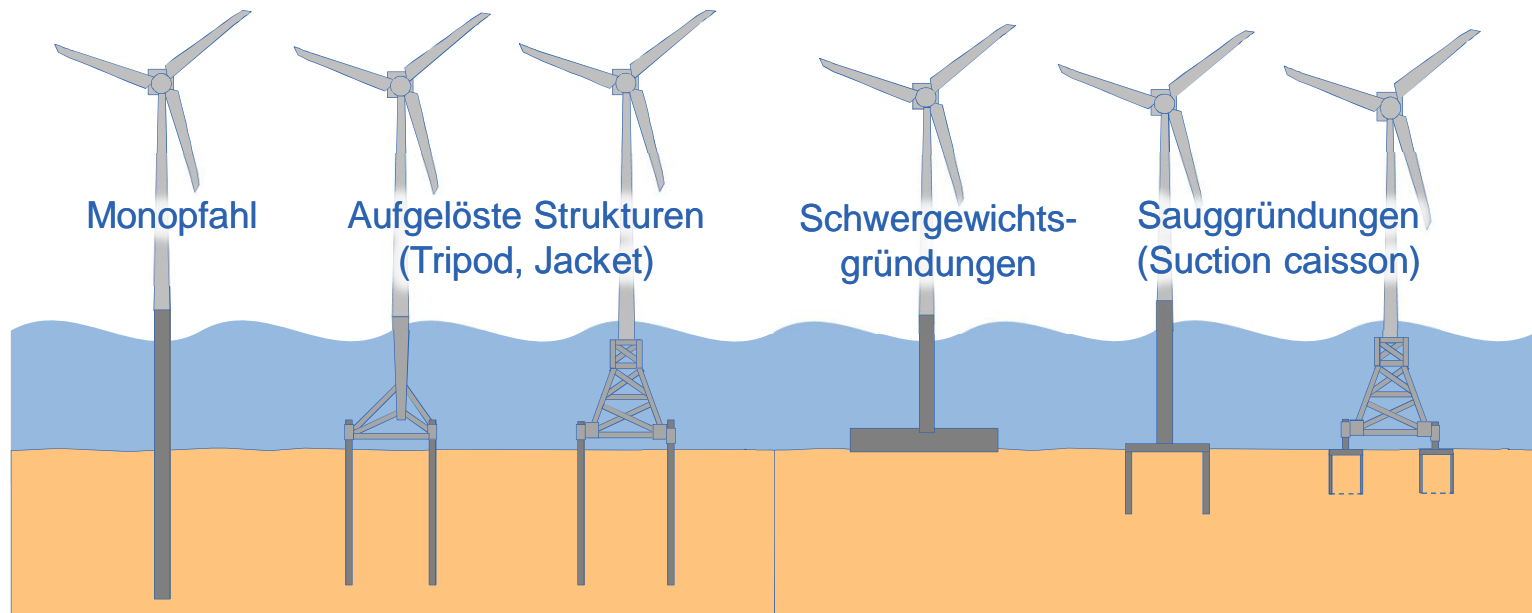
## 2. Technische Randbedingungen

---

§ Baugrund

§ Belastung

§ Konstruktion (Gründungsformen mit unterschiedlichem Lastabtrag)



- Außerdem: schwimmende Gründungen
- Sehr große Bauteilabmessungen, sehr große Gründungstiefen

## 2. Technische Randbedingungen

---

§ **Baugrund**

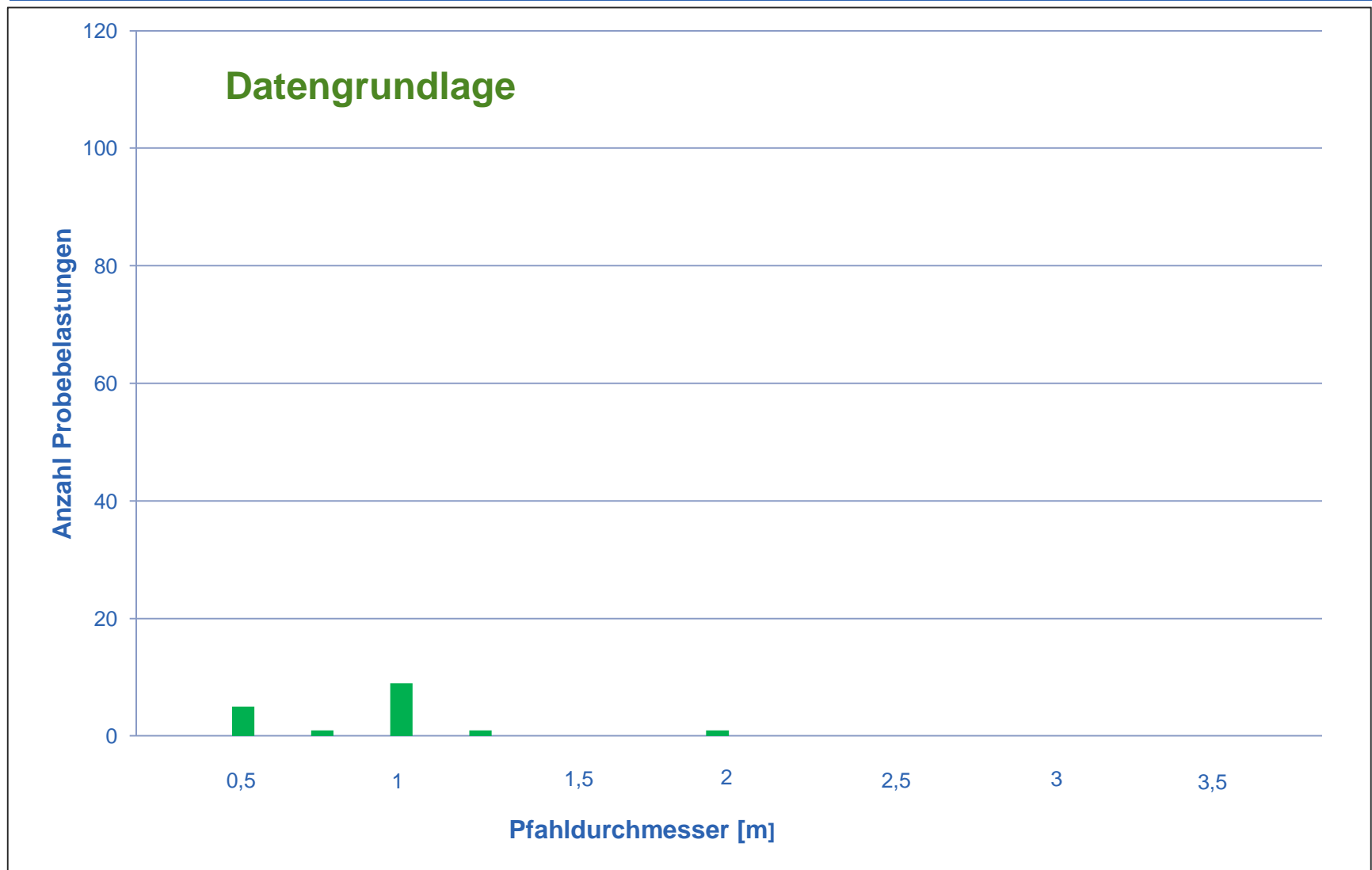
§ **Belastung**

§ **Konstruktion**

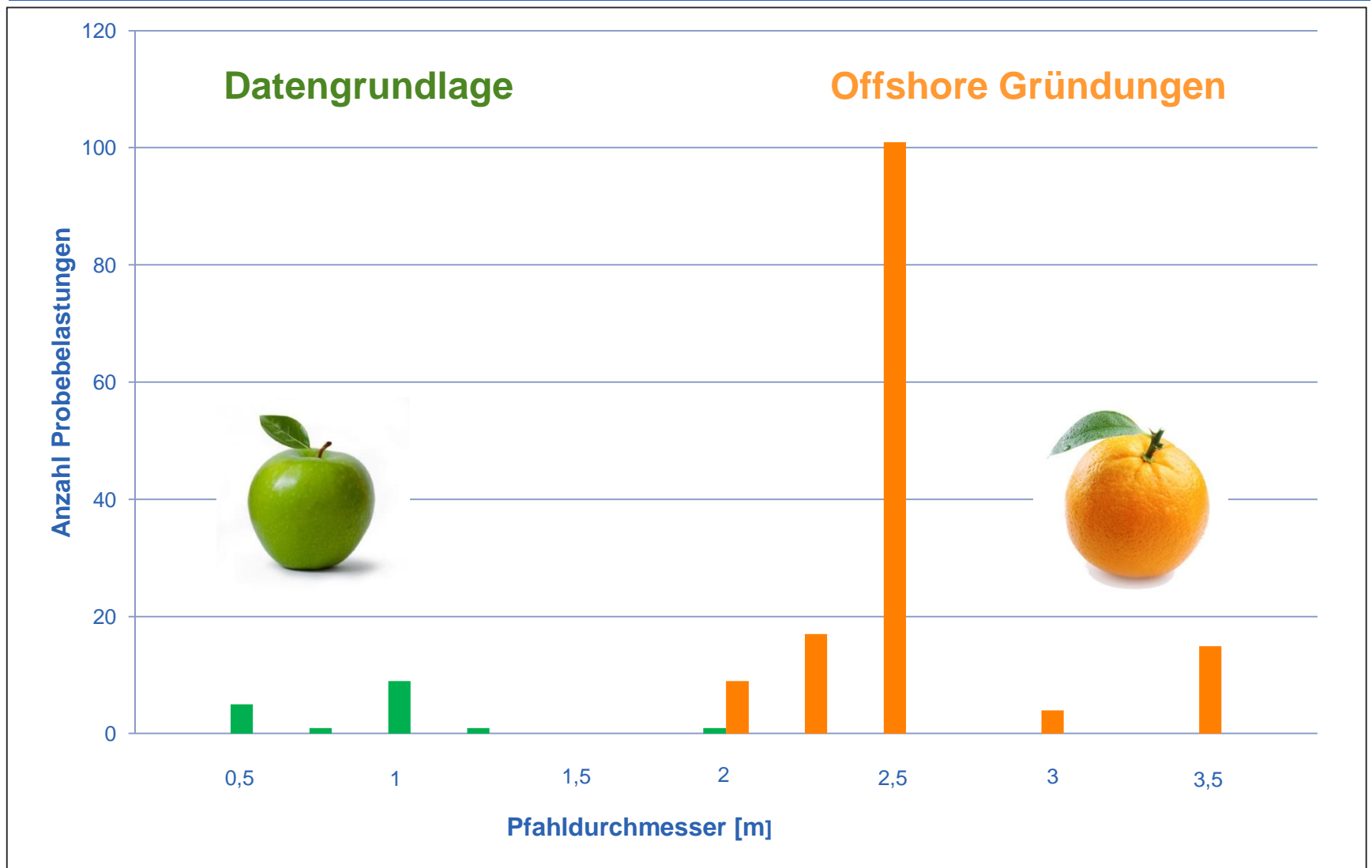
§ **Bemessungsverfahren**

- Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

## 2. Technische Randbedingungen



## 2. Technische Randbedingungen



## 2. Technische Randbedingungen

---

### § Baugrund

### § Belastung

### § Konstruktion

### § Bemessungsverfahren

- Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit
- zyklischen Lasten: Veränderung der Steifigkeit und Festigkeit des Bodens sowie Akkumulation von Porenwasserüberdrücken
- Für Bemessung Ermittlung von äquivalenten Lastkollektiven und einer Tragfähigkeit nach N Zyklen

## 2. Technische Randbedingungen

---

§ Baugrund

§ Belastung

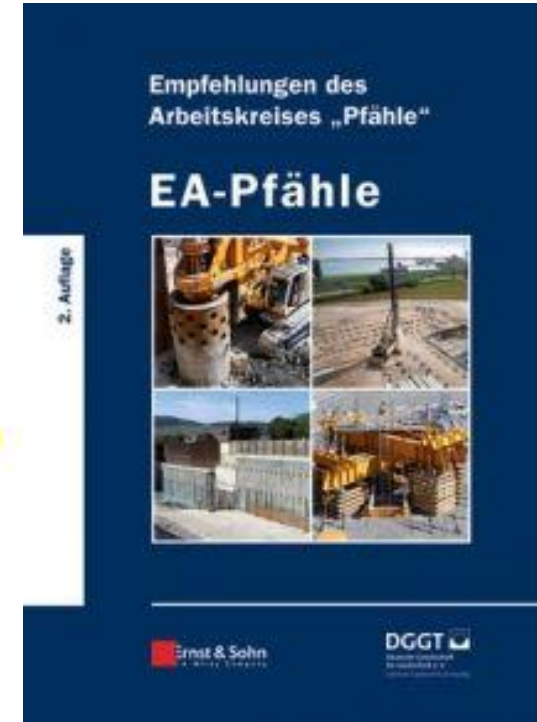
§ Konstruktion

§ Bemessungsverfahren

### Anhang D Berechnungsverfahren und -beispiele für zyklisch belastete Pfähle (informativ)

#### D1 Anwendungshinweise

(1) Bei der Anwendung der nachfolgend angegebenen Verfahren zur Ermittlung des Pfahltragverhaltens unter zyklischer Belastung ist zu beachten, dass die Verfahren zunächst nur innerhalb von Forschungsprojekten überprüft und dabei teilweise an Modell- und Großversuchen kalibriert sind und noch **keine umfangreichen projektbezogenen Erfahrungen** vorliegen. Sie stellen damit noch **keine allgemein anerkannten Regeln der Technik** dar, was durch den Anwender bei entsprechenden Ausführungsprojekten zu beachten ist. Dies gilt auch für die nachfolgend verwendeten Modellfaktoren. Andere für den Anwendungsfall geeignete Berechnungsansätze können angewendet werden. Die Anwendbarkeit der Verfahren ist durch einen Sachverständigen für Geotechnik zu bestätigen.





## 2. Technische Randbedingungen

---

- § **Baugrund**
- § **Belastung**
- § **Konstruktion**
- § **Bemessungsverfahren**

**Komplexe Randbedingungen für die Anwendung einer Beobachtungsmethode  
Eher Stand der Wissenschaft als anerkannte Regeln der Technik**

### 3. Beobachtungsmethode - Allgemeines

---

- § Geotechnisches Ingenieurwesen immer mit Unsicherheiten konfrontiert
  - Bereits in früher Zeit Kompensation durch Messungen als eine mögliche Strategie
  - Alternative Strategien: Akzeptanz eines Risikos oder sehr konservatives Vorgehen
  
- § Peck (1969) prägte den Begriff „Beobachtungsmethode“ („observational method“)
  - Strukturierung und Gliederung des Vorgehens in einzelne Schritte
  - Lehrbuchartig, beispielhaft ⇨ projektspezifisches Vorgehen
  
- § Inhaltlich sehr ähnlich in DIN EN 1997-1:2009 (EC 7) und DIN 1054:2010 formuliert
  
- § Alternative Nachweis- / Planungsmethode mit folgenden Vorteilen:
  - Ökonomisch (Kosten- und Zeitersparnis)
  - Schließen von Wissenslücken (Bestätigung / Anpassung der Designannahmen)

**Ohne verringertes Sicherheitsniveau (Gewährleistung der angestrebten Sicherheit)**

### 3. Beobachtungsmethode - Voraussetzungen zur Durchführung

---

#### § Systemverhalten ausreichend duktil

- Plötzliches Versagen ausgeschlossen
- Eingreifen (zeitlich) möglich

#### § Systemverhalten bekannt und prognostizierbar

- Mögliche Unsicherheiten, Gefahren, Phänomene
- Äußere und innere Tragfähigkeit
- Validierte Methoden (übliche Verfahren)

#### § Systemverhalten messtechnisch überwachbar

- Erforderliche Messgenauigkeit erreichbar
- Erforderliche Größen messbar (z.B. Nachw. Dukt.)

#### § Messungen verlässlich

- Möglich unter Offshore-Bedingungen
- Redundanz und Validierung der Messwerte

#### § Gegenmaßnahmen

## 4. Beobachtungsmethode im Bereich Offshore-Wind

---

### § Systemverhalten:

#### - Baugrund

§ Wenig Erfahrung mit Bodenarten und dessen Festigkeiten

§ Verhalten unter zyklischen Lasten  $\Rightarrow$  Gegenstand der Forschung

#### - Belastung

§ Zyklisch, dynamisch, unregelmäßig  $\Rightarrow$  muss für Nachweise idealisiert werden

§ Bemessung erfolgt für Extremereignisse  $\Rightarrow$  Kalibrierung an kleineren Ereignissen

## 4. Beobachtungsmethode im Bereich Offshore-Wind

---

### § Systemverhalten:

#### - Baugrund

§ Wenig Erfahrung mit Bodenarten und dessen Festigkeiten

§ Verhalten unter zyklischen Lasten  $\Rightarrow$  Gegenstand der Forschung

#### - Belastung



Quelle: <http://gcapt>

## 4. Beobachtungsmethode im Bereich Offshore-Wind

---

### § Systemverhalten:

#### - Baugrund

- § Wenig Erfahrung mit Bodenarten und dessen Festigkeiten
- § Verhalten unter zyklischen Lasten ⇔ Gegenstand der Forschung

#### - Belastung

- § Zyklisch, dynamisch, unregelmäßig ⇔ muss für Nachweise idealisiert werden
- § Bemessung erfolgt für Extremereignisse ⇔ Kalibrierung an kleineren Ereignissen

#### - Konstruktion

- § Neue Gründungsformen, spezielle Gründungsabmessungen
- § Boden-Bauwerk-Interaktion ändert sich mit der Zeit bzw. mit der Belastung

**Stand der Wissenschaft statt validierter (üblicher) Verfahren**

## 4. Beobachtungsmethode im Bereich Offshore-Wind

---

### § Fazit widersprüchlich:

- Derzeit vorhandene Wissens-/Erfahrungslücken machen die Anwendung sinnvoll.
- Gleichzeitig bedeuten diese begrenzte Verfügbarkeit gängiger, validierter Methoden.
- Schwer, eindeutige Versagensmechanismen hinsichtlich innerer und äußerer Tragfähigkeit des Gesamtsystems zu prognostizieren und zu quantifizieren, sowie kritische Messpunkte zu identifizieren.
- Adaption des Entwurfs offshore technisch schwierig und vermutlich mit immensen Kosten verbunden. Die Wirtschaftlichkeit ist somit fragwürdig.

**Wann also wird die Beobachtungsmethode im Bereich Offshore-Wind angewandt?**



## 4. Beobachtungsmethode im Bereich Offshore-Wind

---

### § Beispiele:

- „Der Nachweis hinreichender axialer Tragfähigkeit der Pfähle erfolgt durch eine hinreichende Anzahl dynamischer Pfahlprobelastungen.“ BSH (2015), Standard Konstruktion
- Falls nicht anders möglich  $\Rightarrow$  Beobachtungsmethode, Gegenmaßnahme?
- Es wird auf einen Kolkschutz verzichtet. Kolk wird in der Bemessung pauschal berücksichtigt und die Kolkiefen überwacht.
- Überschreiten die Kolke die Pauschale  $\Rightarrow$  Gegenmaßnahme Verfüllung
- Neuartige Gründung mit nicht genormter und validierter Bemessungsmethodik.
- $\Rightarrow$  Beobachtungsmethode, Gegenmaßnahme/Adaptierung einplanen

## Zitat

---

„Das kalkulierte geotechnische Risiko steht im engen Zusammenhang mit der Beobachtungsmethode bzw. der semi-empirischen Dimensionierung. Je höher das übernommene Risiko bzw. das Gefährdungspotential, desto **intensiver und sorgfältiger muss an der Baustelle gemessen und rückgerechnet werden**. Ein wesentliches Grundprinzip der Beobachtungsmethode liegt demnach darin, dass Prognosen erstellt werden und der geotechnische Entwurf stets Möglichkeiten von Adaptierungen und Verstärkungen aufweist (Active Design).

Andernfalls würde aus einer seriösen Ingenieurtätigkeit letztlich ein **Geopoker**.“

Heinz Brandl (2003)

*Heinz Brandl, Kalkuliertes Geotechnisches Risiko versus „Geopoker“, Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft Nr. 64, 2003, 129 – 158, 2003*

## Quellenverzeichnis

---

- § BSH (Hg.) (2015): Standard Konstruktion, Mindestanforderungen an die konstruktive Ausführung von Offshore-Bauwerken in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) (BSH-Nr. 7005)
  
- § Peck, R. B. (1969): Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics, *Gèotechnique* 19, No. 2, 171-197
  
- § Christian, John T. (October 2004), Geotechnical Engineering Reliability: How Well Do We Know What We Are Doing?, *Journal of geotechnical an geoenvironmental engineering*
  
- § Gudehus, G. (2004), Prognosen bei der Beobachtungsmethode, *Bautechnik* 81, Heft 1, Berlin: Ernst & Sohn
  
- § Brandl, H. (Mai 2002), Risikomanagement und Beobachtungsmethode in der Geotechnik, Tagungsband 12. Donau-Europäische Konferenz Geotechnisches Ingenieurwesen, Passau: VGE



<http://analysisandstatistics.blogspot.de>

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit

Bundesanstalt für Wasserbau  
22559 Hamburg

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