



18.03.2016

BEMESSUNG AXIAL BELASTETER OFFSHORE- RAMMPFÄHLE IN DER AWZ: ANFORDERUNGEN, ERFAHRUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Matthias Baeßler, BAM

Thomas Jahnke, BSH

Mussie Kidane, BAW

Stand des Ausbaus: Nordsee

Ausbauziel Energiewende:

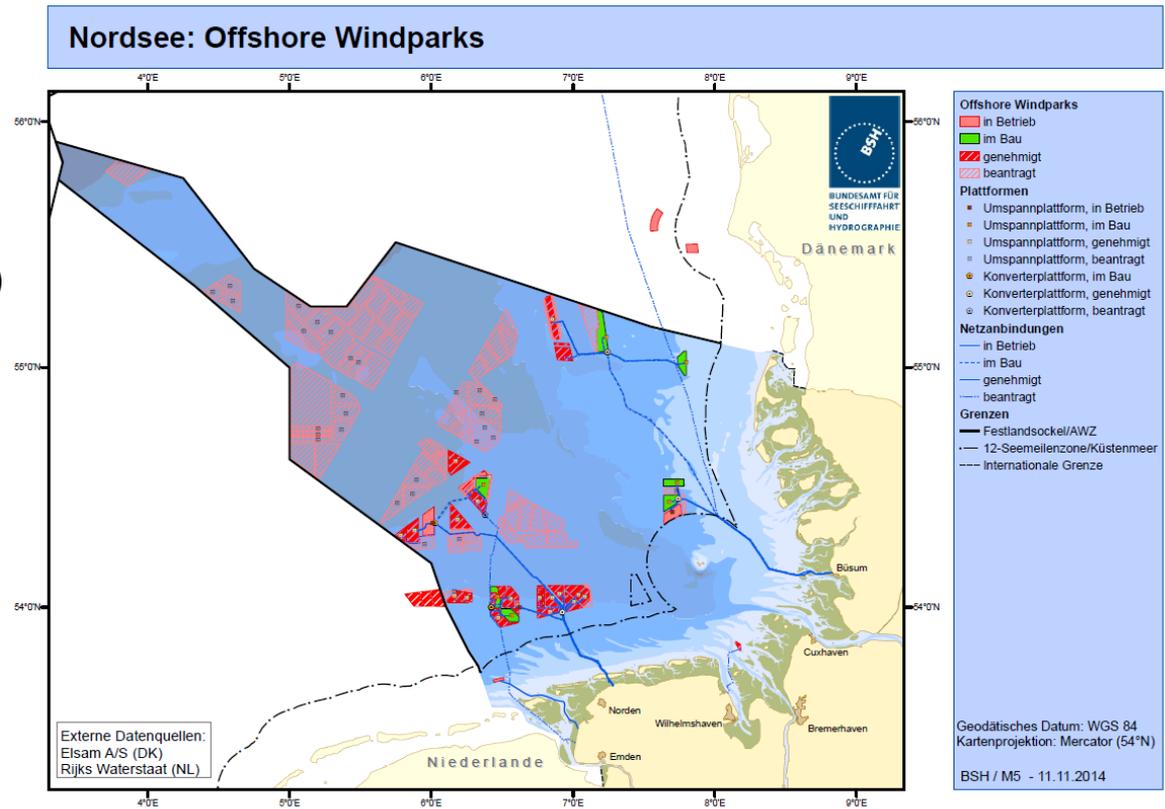
bis 2050 60% der
Energieversorgung durch
Erneuerbare Energien
(Kabinettsbeschluss 06. Juni 2011)

Die Bundesregierung strebt an:

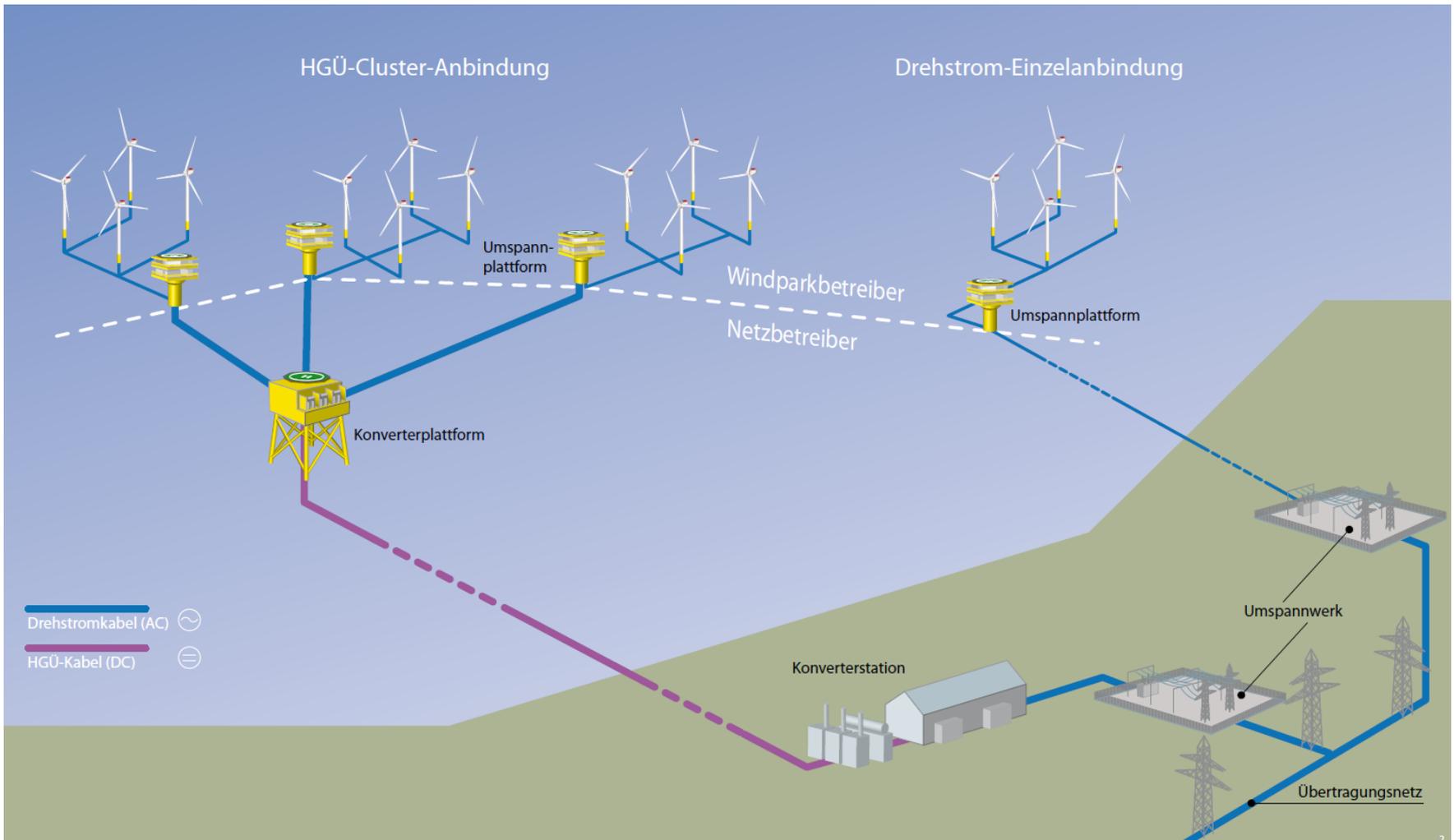
- bis 2020 insgesamt **6,5 Gigawatt**
Windenergieleistung Offshore,

► **> 1000 Tragwerke**

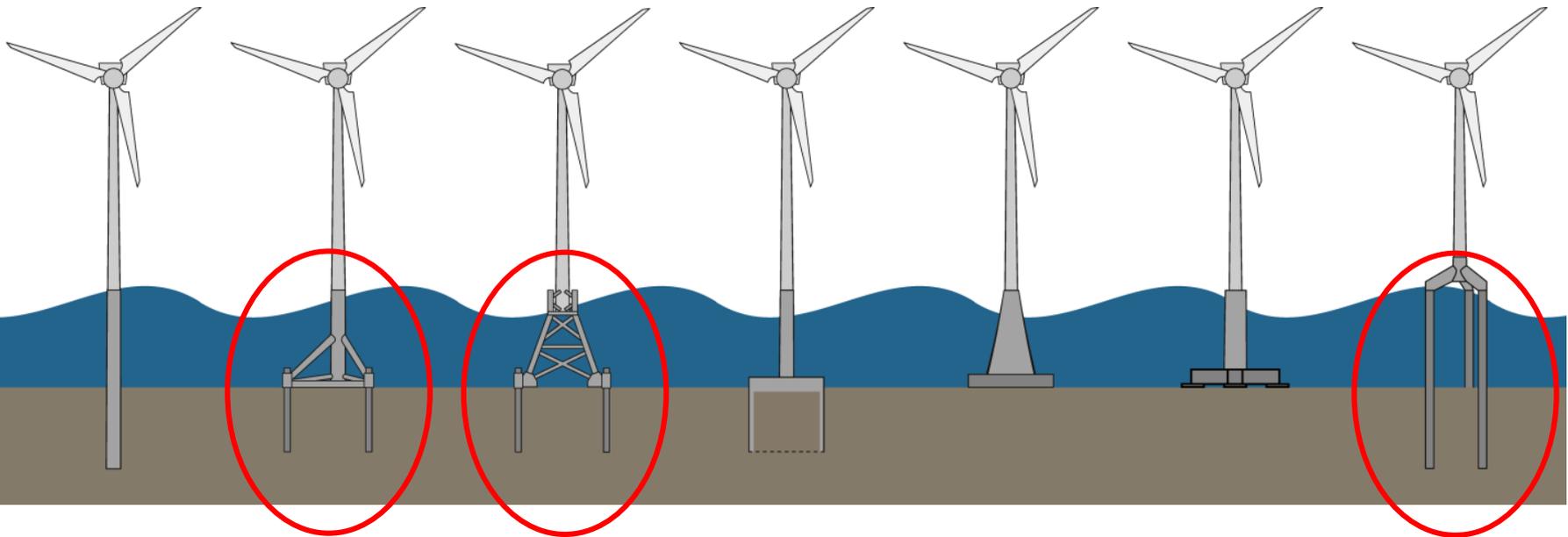
- bis 2030 insgesamt **15 Gigawatt**
Windenergieleistung Offshore.



Technische Infrastrukturbawerke



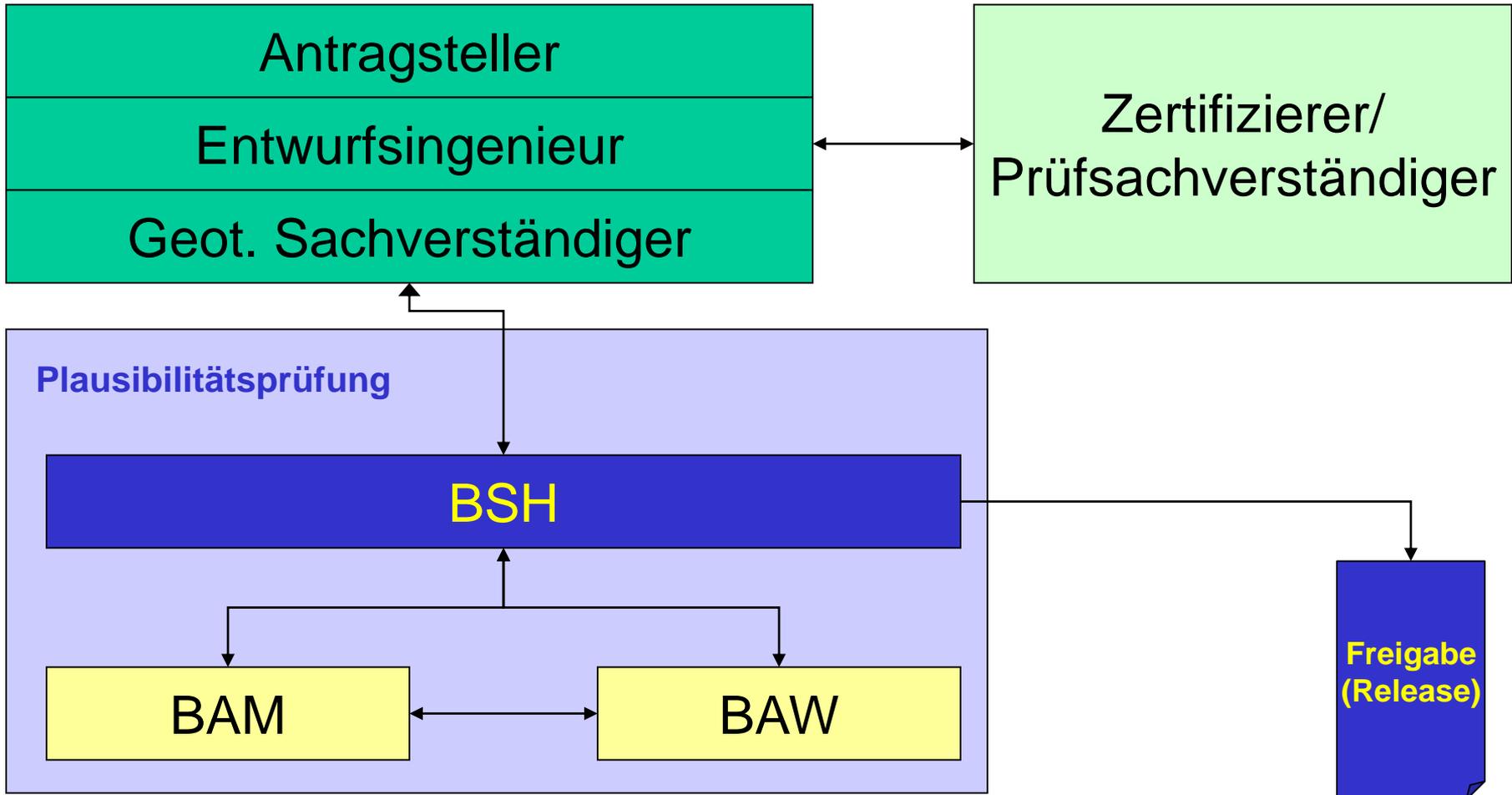
Gründungsvarianten



Vorwiegend axial



Ablauf Antragsverfahren BSH



Regulatorische Grundlage

Projekttablauf

- Entwicklungsphase
- Konstruktionsphase
- Ausführungsphase
- Betriebsphase
- Rückbauphase

Freigaben und einzureichende Unterlagen

Grundsätzliche Normenhierarchie



Pfahlbemessung

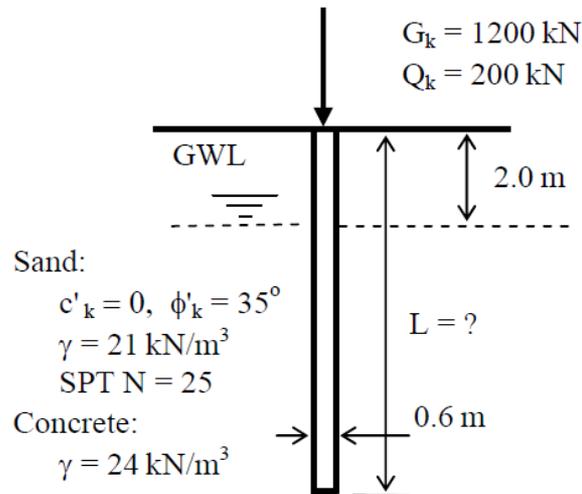


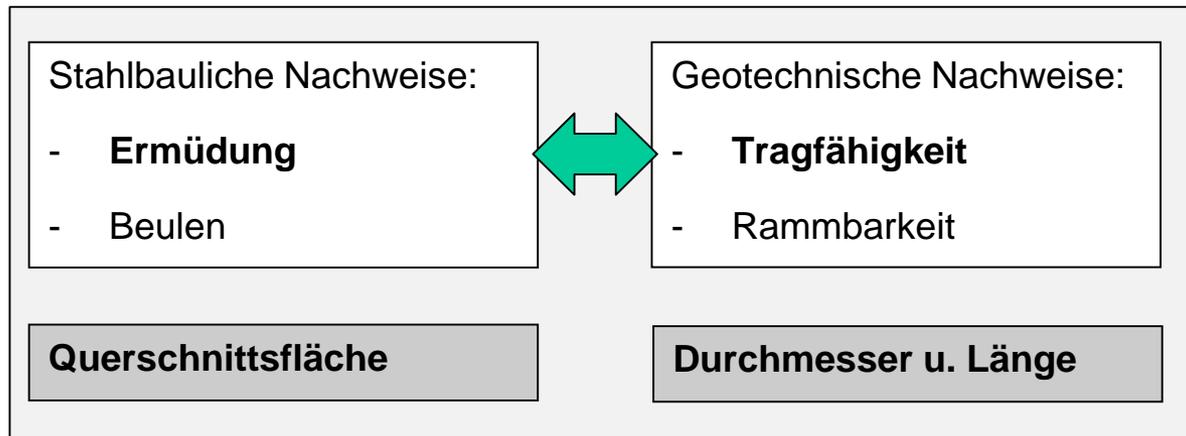
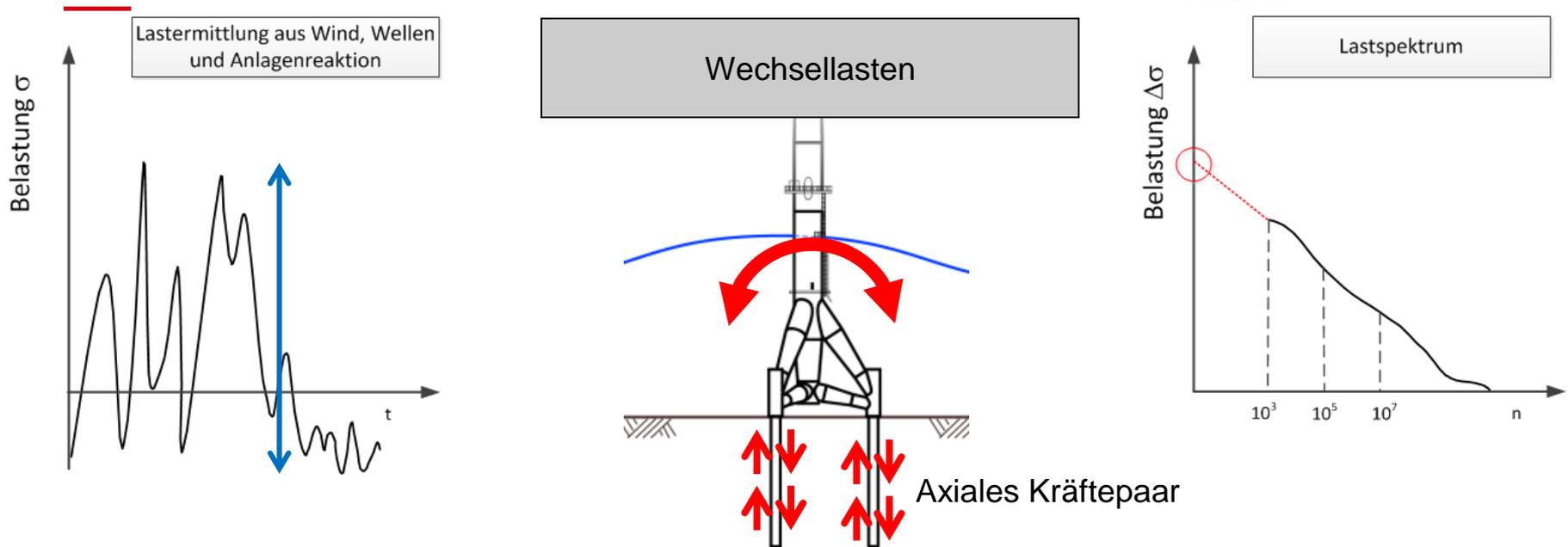
Figure 1(c) Example 3 – Bored concrete pile

Frank, R. (2005) Evaluation of Eurocode 7

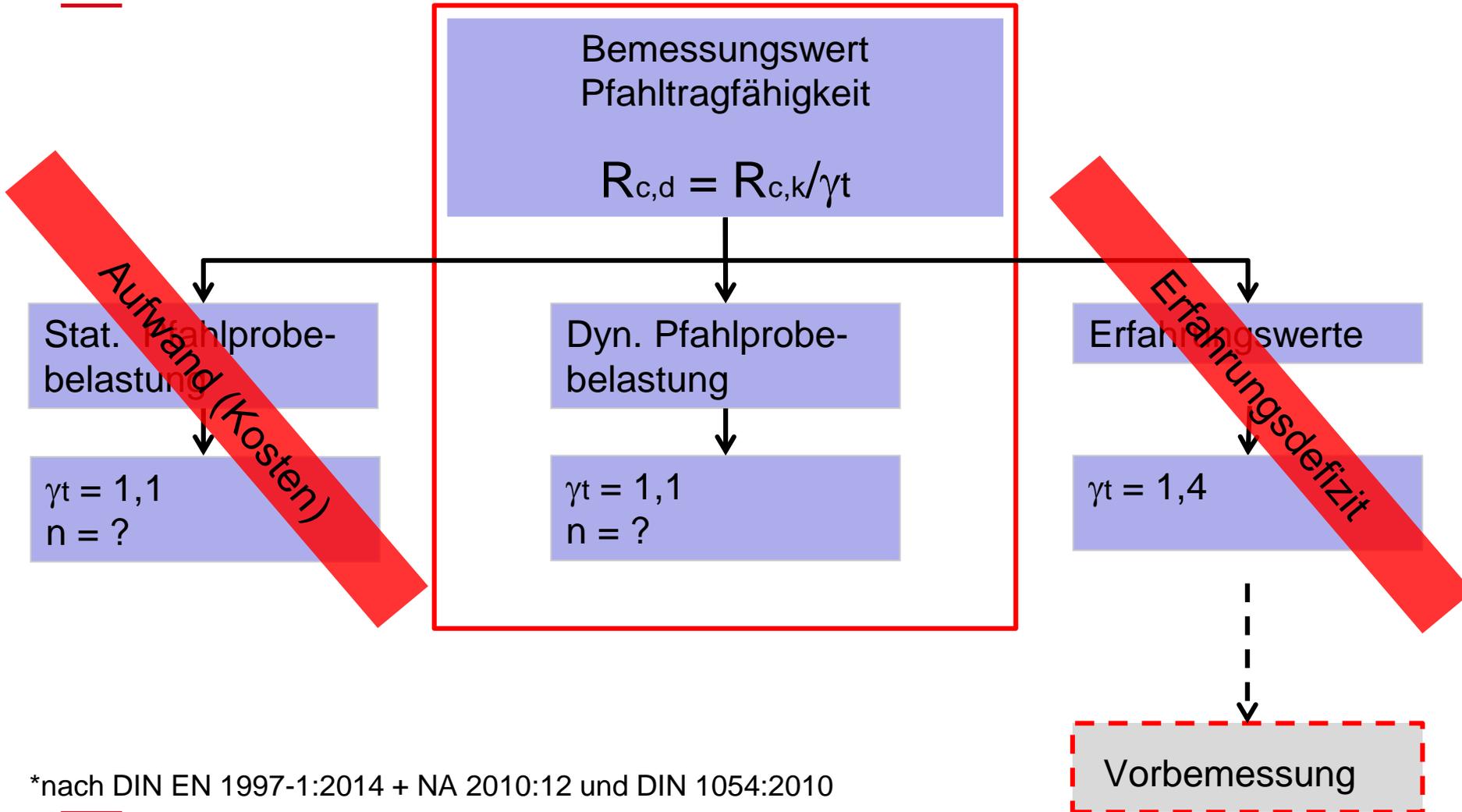
Table 1: Ranges and averages of solutions for design examples

Example	Required parameter	Range of solutions (average value)	% Range
1	B - foundation width	1.4 – 2.3m (1.9m)	± 24%
2	B - foundation width	3.4 – 5.6m (3.9m)	± 24%
3	L - pile length	10.0 – 42.8m (20.5m)	± 62%
4	N – number of piles	9 – 10 (9)	± 5%
5	B – base width	3.1 – 5.2m (4.3m)	± 37%
6	D - embedment depth	3.9 – 6.9m (5.4m)	± 28%
7	D - embedment depth	2.3 – 7.0m (4.7m)	± 51%
8	T - slab thickness	0.42 – 0.85m (0.60m)	± 33%
9	H - hydraulic head	3.3 – 8.8m (4.9m)	± 45%
10	H - embankment height	1.6 – 3.4m (2.4m)	± 36%

Anforderungen an Nachweise



Nachweisschema



Pfahlprobebelastungen

- Generell Pfahlprobebelastungen erforderlich
 - Dynamische Pfahlprobebelastungen für die Sande Nordsee
 - Vorgehen nach EA Pfähle (2012)
 - Pfahlprobebelastung an Testpfählen oder bei Installation
 - End of Driving oder Restrike
 - Keine Extrapolation der Tragfähigkeitsentwicklung!
 - AWZ: 10 % aller Standorte und mindestens 2 Pfähle für jedes Baugrundprofil (BSH Standard Konstruktion)
 - Größere Anzahl lohnt sich!
-



Nachweisschema

$$\overline{R_{c,d}} = R_{c,k} / \gamma_t$$

$$R_{c,k} = \text{MIN} \left\{ \begin{matrix} (R_{c;m})_{\text{avg}} & , & (R_{c;m})_{\text{min}} \\ \xi_5 & & \xi_6 \end{matrix} \right\}$$

Bemessungswert Pfahltragfähigkeit

Gemessene Pfahlwiderstände

Beispiel

n	2	10
ξ	1,6/1,5	1,45/1,3
$\Delta\xi$	0,1	0,1
η_D	0,85	0,85
ξ_5 / ξ_6	1,45/1,36	1,32/1,19

$$\xi_i = (\xi_{0,i} + \Delta\xi) \cdot \eta_D$$

Streuungsfaktor

$\Delta\xi = 0,1$ für Nordsee-Sande

Tabelle A.11 — Streuungsfaktoren ξ zur Ableitung charakteristischer Werte aus Schlagversuchen (n -Anzahl der untersuchten Pfähle)

ξ für $n =$	≥ 2	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20
ξ_5	1,6	1,5	1,45	1,42	1,4
ξ_6	1,5	1,35	1,3	1,25	1,25

Probebelastung für Einzelbauwerke

- Was tun wenn Anzahl der Pfähle beschränkt?

→ Alternatives Vorgehen nach EA-Pfähle (Jahresbericht 2014)

Voraussetzungen:

Bauwerk mit $n \geq 3$ Pfählen

Standard Baugrunderkundung 2015

Jeder Bauwerkspfahl getestet

Jeder Pfahl einzeln ausgewertet ξ_6

Zweitgutachter

Gilt nur für Drucktragfähigkeit

n	4
ξ	1,53/1,4
$\Delta\xi$	0,1
η_D	0,85
ξ_5 / ξ_6	1,39/1,28

$\xi_6 = 1,15$ darf **nicht** weiter verringert werden





Was kann ich tun zur Absicherung?

- **Testpfähle** (vor Baubeginn)
 - **Anforderungsspezifisches Design** (Geot. Sachv. mit entsprech. Erfahrung)
 - Mehr Pfahlprobelastungen
 - -----
 - Anwendung **Beobachtungsmethode** (EC 7 Abs. 2.7 (2)P)
 - Nicht Bauwerksüberwachung, Nicht Lastmonitoring
 - Keine Gegenmaßnahme → keine Beobachtungsmethode
 - Kein duktileres Verhalten → keine Beobachtungsmethode
-

Vorbemessung



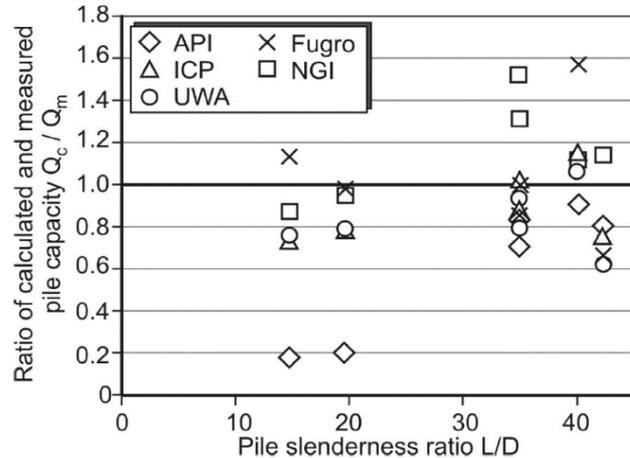
Vorbemessung ist für den erfolgreichen Nachweis der Pfahltragfähigkeit bei den dynamischen Pfahlprobelastungen entscheidend

Typisches Vorgehen:

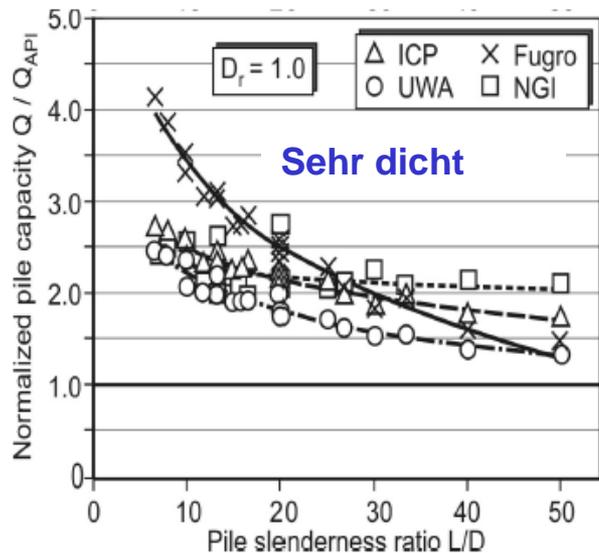
- Spezielle, belegbare Erfahrungen des Geot. Sachverständigen
- Methoden basierend auf K (lateraler Erddruckkoeffizient)
 - API
- Methoden basierend auf q_c (CPT's Spitzenwiderstand)
 - ICP, UWA, FUGRO, NGI

Offshore practice: Methods commonly used for pile design

Was sollte beachtet werden?



Methodenvergleich –
Tragfähigkeit hängt stark von
der Prognosemethode ab



Ablösung API:
CPT-Methoden ergeben
größere Pfahlwiderstände für
dicht gelagerte Sande und für
 $D > 1$ m

**Erfahrung wird für $D > 1$ m
verlassen.**

Was sollte beachtet werden?

EA Pfähle: Empfehlung 10% - Fraktilwert

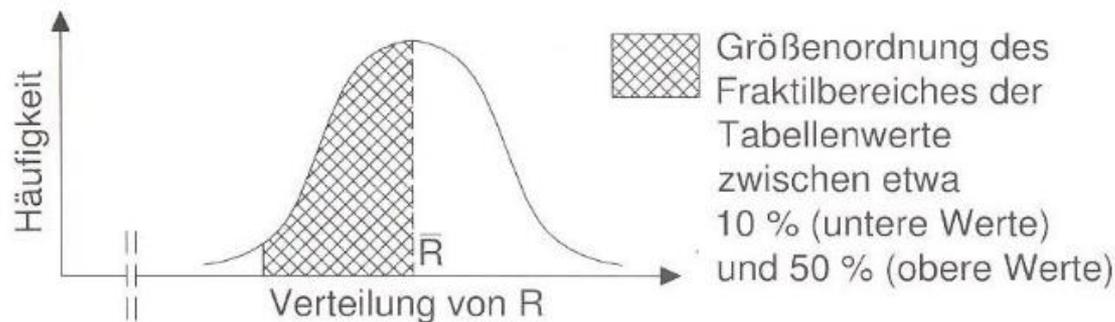
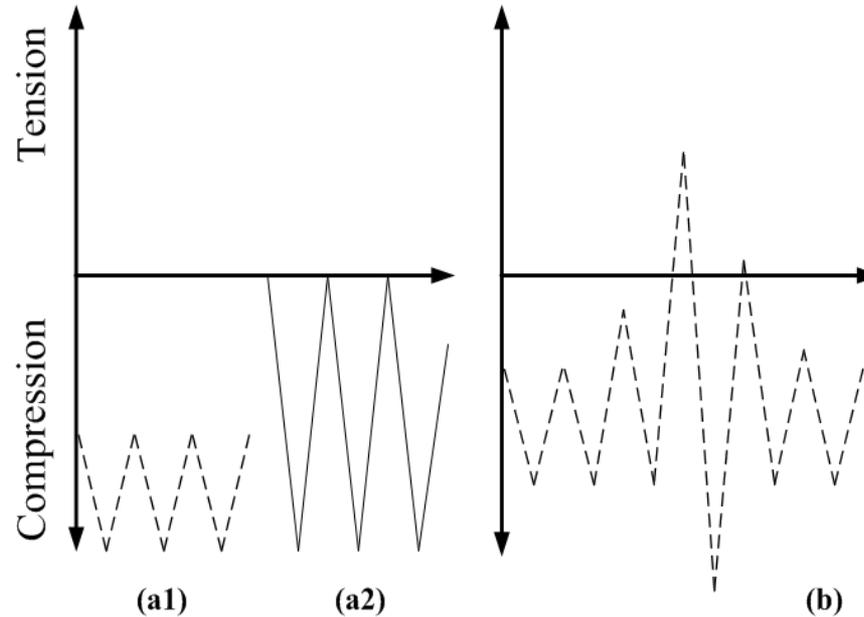
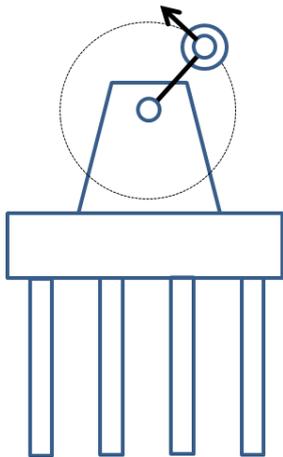


Bild 5.2 Fraktilbereich für die Spannen der Tabellenwerte für Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten im Vergleich zu Probelastungsergebnissen

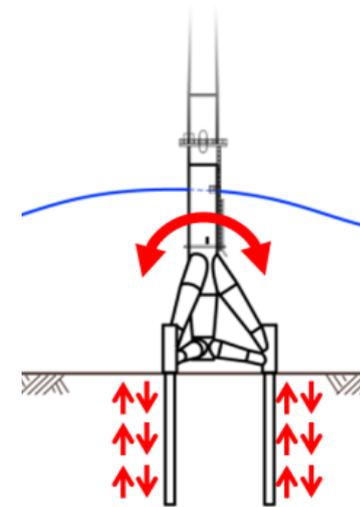
Fazit: Empirische Ansätze sollten nicht unkritisch übernommen werden. Anforderungen des Nachweises und des Anwendungsfalls beachten!

Besonderheiten der zyklischen Belastung

Typische Zykliek



OWEA



mainly **AXIAL**

Wechselast

Zugtragfähigkeit
dimensionierend

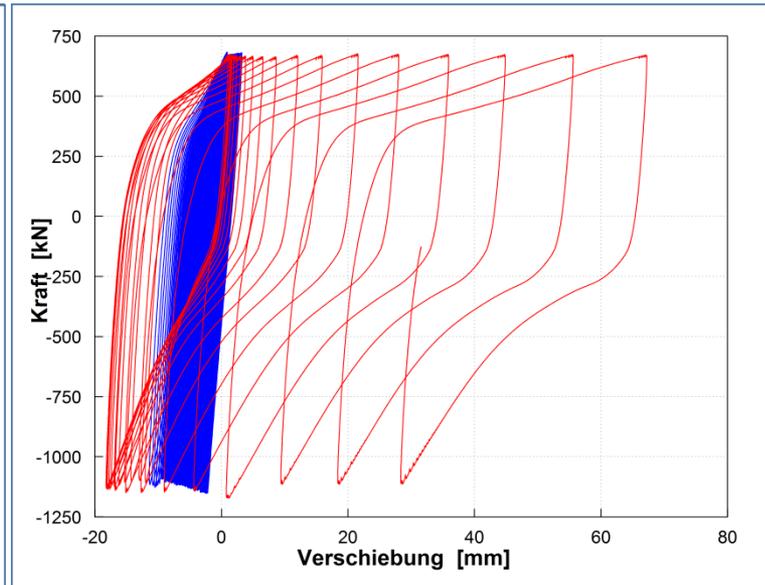
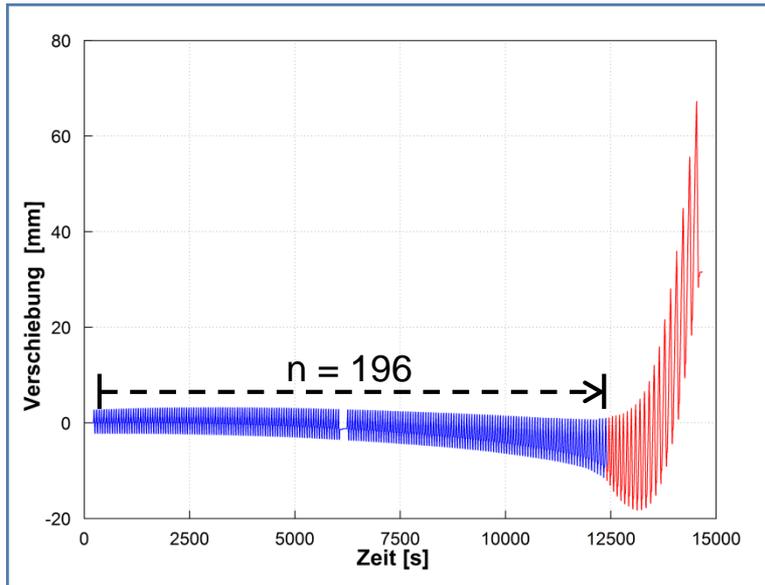
Extremwertverteilung

Pfahltragfähigkeit: Zyklische Belastung

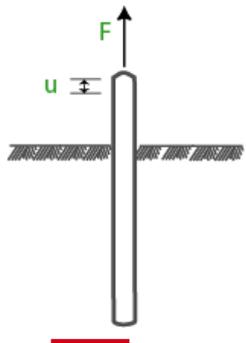
Versuchsergebnisse



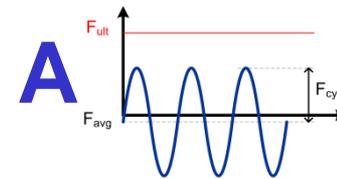
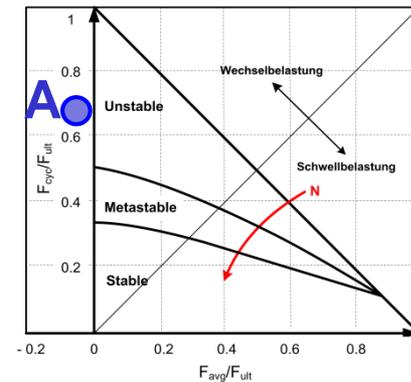
BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE



Cuéllar, Baeßler, Rücker et. al., 2015



kollabierend

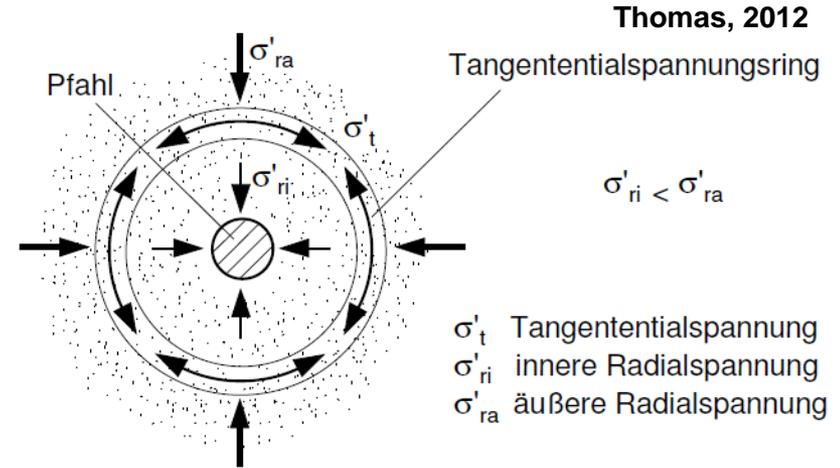
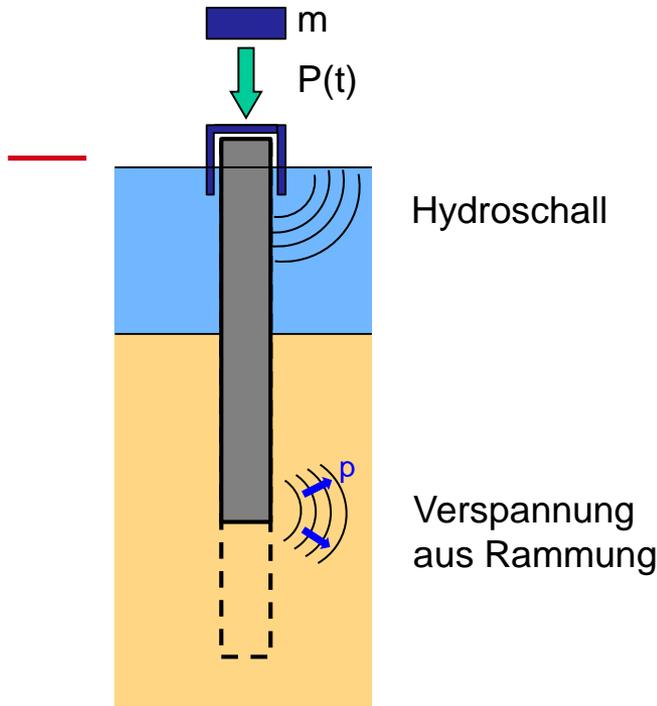




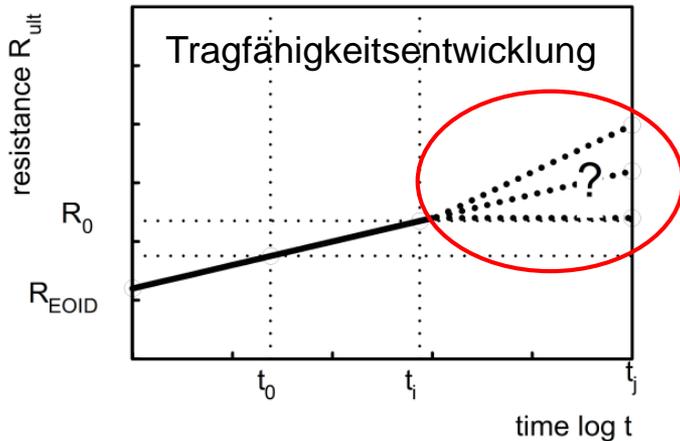
Nachweis Tragfähigkeit bei zykl. Belastung

- Verfahren zur Bemessung zyklisch belasteter Pfähle sind in EA Pfähle vorhanden
 - EA Pfähle, Anhang D enthält Berechnungsverfahren
 - Noch keine anerkannten Regeln der Technik
 - Es sollten erhebliche Sicherheitsreserven für das Objekt gezeigt bzw. die Anwendbarkeit der Verfahren durch ein geeignetes Mess- und Beobachtungsprogramm am Objekt verifiziert werden (siehe BSH Standard Konstruktion Teil B Abs. 3.3.2.1).
-

Axiale Tragfähigkeit und Standzeiteffekte



Thomas, 2012



Standzeiteffekte treten nur bei gerammten **Profilen** auf

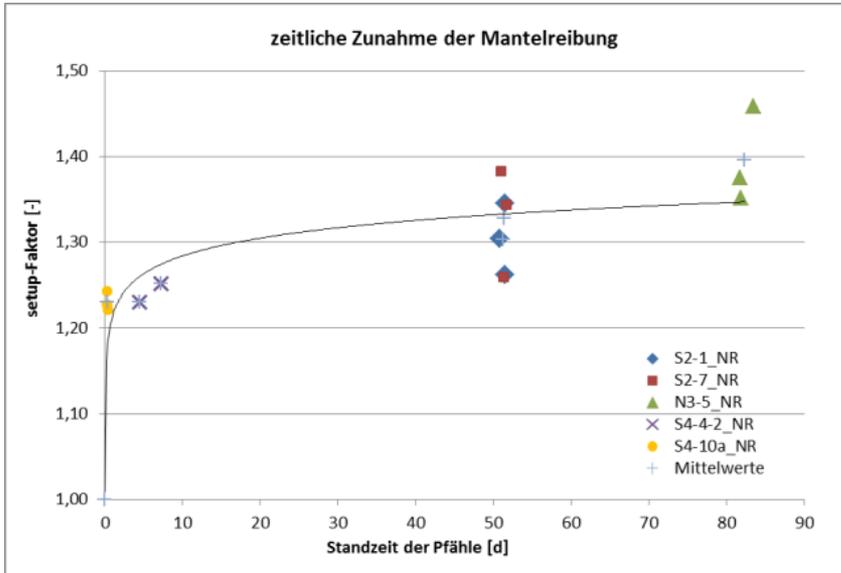
Wesentliche Ursachen für Tragfähigkeitszuwachs mit der Zeit:

- (1) Kurzfristig: Abbau von **Porenwasserüberdrücken**
- (2) Längerfristig: Degradation des abschirmenden **Gewölbes**

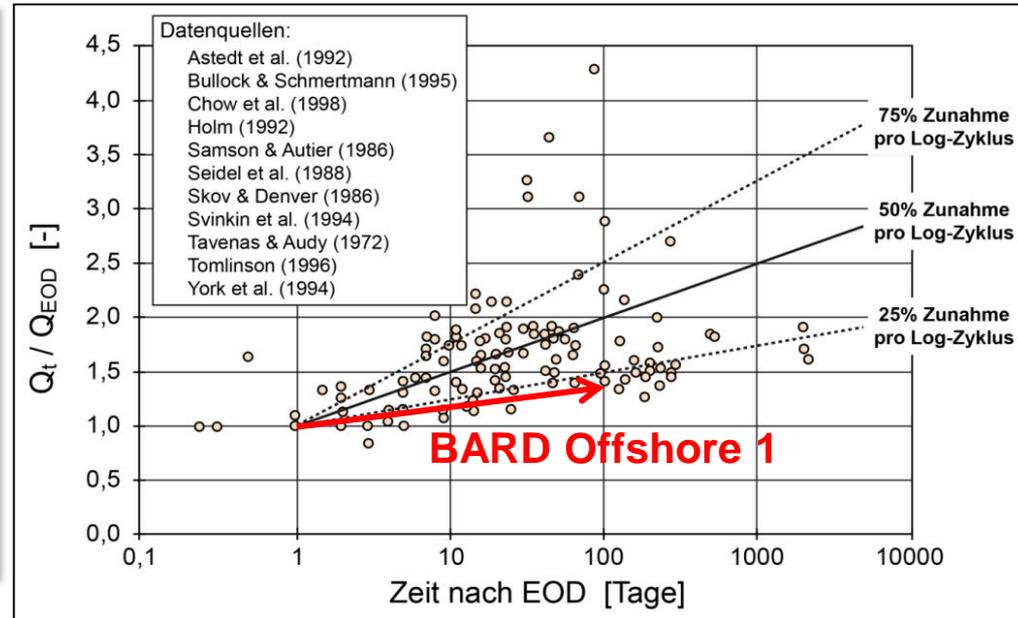
Aber auch: Pfahleinbringung, Lagerungsdichte, Korngrößenverteilung, Kornform, Kornhärte, chemische und biologische Einflüsse ...

Ergebnisse

BARD Offshore 1

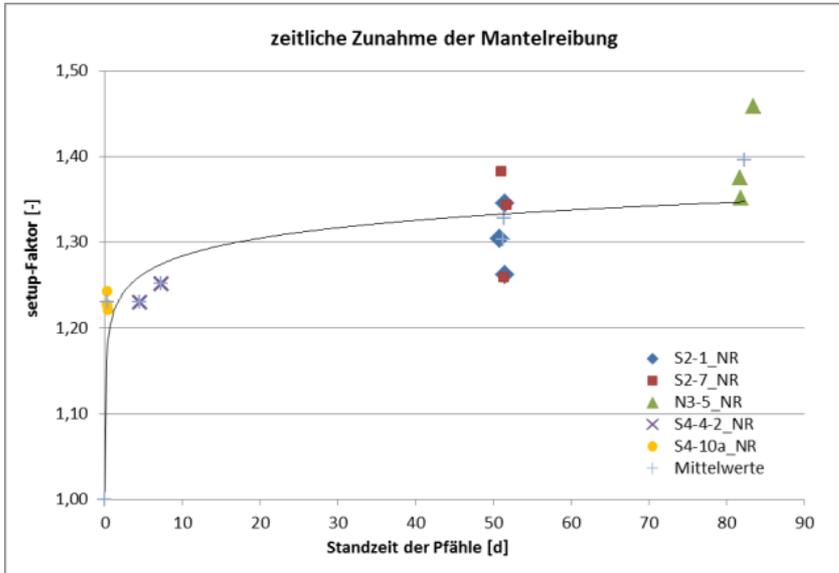


Chow, 1997

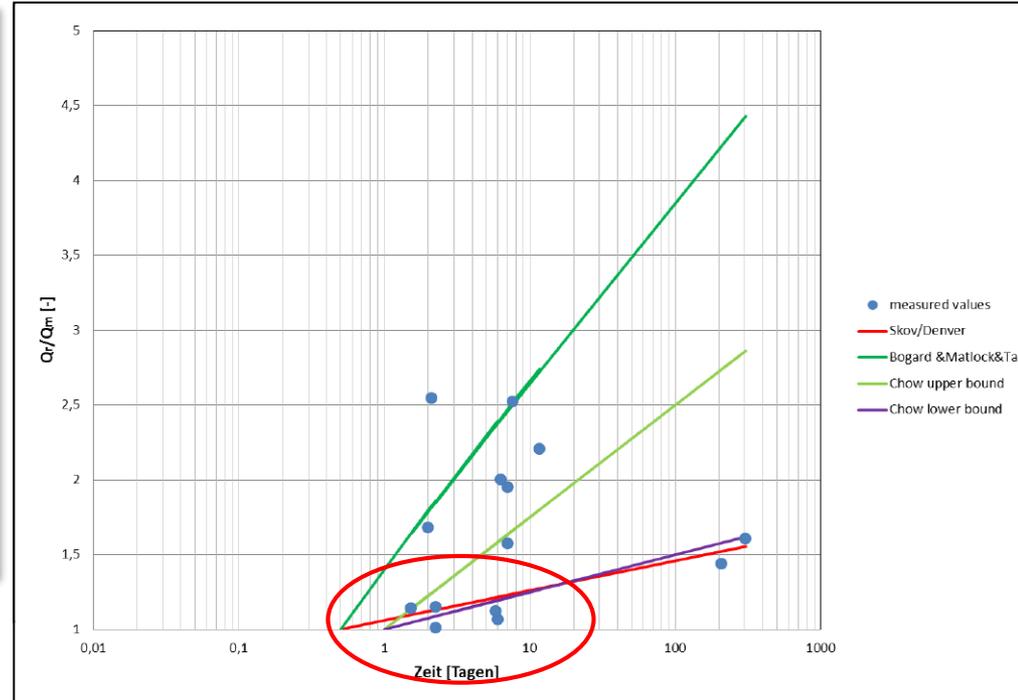


Ergebnisse

BARD Offshore 1



DNV GL, 2015



Datenbank –
Tragfähigkeitszuwächse



Andere Pfahlsysteme, andere Bodenprofile

Besonderheiten Ostsee

Standardfall: Statische Probelastungen sind hier erforderlich (siehe z. B. EA-Pfähle Abs. 10.2 (6)).

Andere Gründungsvarianten

- Bohrpfähle
 - Verpresspfähle
 - Anker
 - Suction Buckets
-



Zusammenfassung

- Nachweis der Pfahltragfähigkeit mit **Pfahlprobebelastungen** nach EC7
 - Vorbemessung mit Erfahrung des Geotechnischen Sachverständigen
 - AWZ: Für dichte Sande und die Pfahldimensionen **Erfahrungsbasis** beachten
 - Weder eine Anwendung der API noch der CPT-Methode(n) erfüllen sicher EN 1997-1 / DIN 1054 (Modifikationen notwendig?)
 - Gebrauchstauglichkeitsnachweis notwendig (nicht dargestellt)
 - **Zyklische Belastungen** und **Tragfähigkeitszuwächse** mit der Zeit bedeutsam
 - **Keine Extrapolation!** Nachweis über Restrikes am Bauwerkspfahl oder an baugleichen Probepfählen im Baufeld.
-