



Leibniz  
Universität  
Hannover

---

# Bemessung zyklisch axial belasteter Offshorepfähle

Dipl.-Ing. Christian Schröder  
Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus  
Dr.-Ing. Khalid Abdel-Rahman



**IGBE**

Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau  
Leibniz Universität Hannover

# Bemessung axial belasteter Offshorepfähle

Pfahlwiderstand  $R_{ult,d} = R_{b,d} + R_{s,d}$

**Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Pfahlwiderstands, z.B.:**

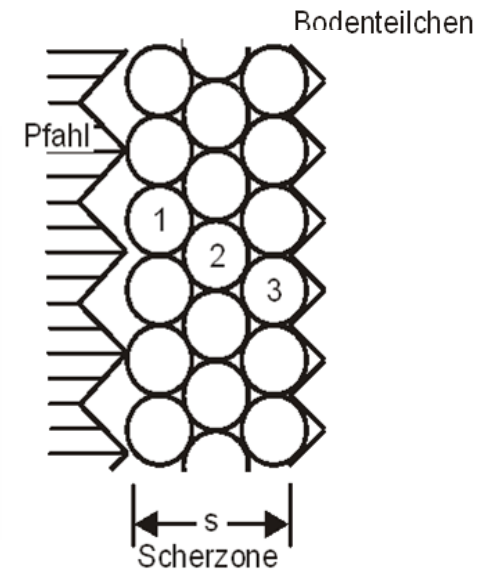
- $\beta$ -Methode nach API (RP2A-WSD)
- CPT-basierte Verfahren (ICP-05, UWA-05, Fugro-05, NGI-05)

**Berücksichtigung zyklischer Belastung in der Praxis:**

- bisher: pauschale Reduktion der Mantelreibung z.B. um 50%
- seit Feb. 2011: Einführung neuer Berechnungsansätze EA-Pfähle (2011):  
Interaktionsdiagramme z.B. nach Kempfert (2009), Mittag/Richter (2005)  
Näherungsverfahren nach Richter & Kirsch (2010)

## Mantelreibungsdegradation

- zyklische Scherung verursacht  
Scherdehnungen entlang des Pfahlmantels
- Scherdehnungen sind begrenzt auf einen  
Bereich um den Pfahl  
↓
- Verdichtung des Bodens
- Reduktion der Kontaktspannung
- Abnahme der Mantelreibung
  
- Einflussfaktoren:  
Lastamplitude, Zyklenanzahl, Bodenart, etc.

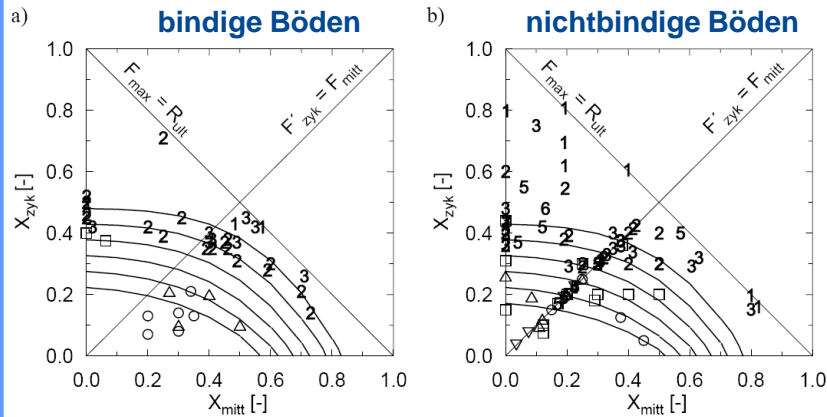


Kontaktbedingungen Pfahl/Boden  
im statischen Fall

# Bemessungsansätze für zyklisch axiale Pfahltragfähigkeit

## empirisch

z.B. Interaktionsdiagramm nach Kempfert (2009)



Interaktionsdiagramme z.B. nach:

- Poulos (1988)
- Mittag & Richter (2005)
- Thomas & Kempfert (2006)
- Kempfert (2009)

## halb-empirisch

z.B. Näherungsverfahren nach Kirsch & Richter (2010)

$$R_{S,d}(N) = R_{S,d} - \gamma_Q \cdot \eta_{R,d} \cdot \Delta\tau_k(N) \cdot A_S$$

$$\Delta\tau_k(N) = 2 \cdot G_w \cdot \tan \delta \cdot \Delta D^* \cdot \left[ \gamma_{zyk} \cdot \left( \frac{\gamma_{zyk}}{\gamma_{grenz}} - 1 \right) - \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot \gamma_{grenz} \left[ \left( \frac{\gamma_{zyk}}{\gamma_{grenz}} \right)^2 - 1 \right] \right]$$

$$\gamma_{zyk} = \tau_{zyk} / G_{zyk}$$

$$\Delta D^* = \Delta D \cdot \lg N = 0,5 \cdot I_D^{-2,32} \cdot \lg N$$

berücksichtigte Parameter:

- Belastung (Lastamplitude, Zyklenanzahl)
- Bodenkennwerte (Schubmodul, Wandreibungswinkel, Lagerungsdichte, etc.)
- Bereich, in dem die Degradation stattfindet

## Experimentelle Untersuchungen am IGBE

### Modellversuche

#### zykl. axiale Pfahltests

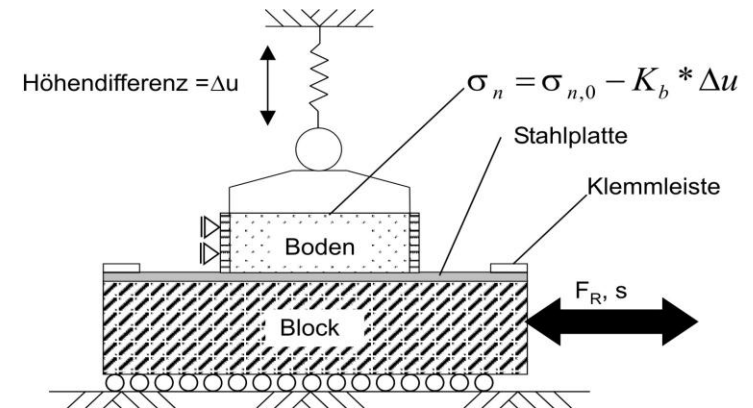


Versuchseinrichtung für zykl. axiale Pfahltests:

- gerammte Stahlrohre bzw. -profile
- Pfahleinbindelänge  $L = 2$  m
- Pfahldurchmesser  $D = 8 - 10$  cm
- $L/D$  rd. 20 bis 25
- trockener, dicht gelagerter Mittelsand

### bodenmechanische Versuche

#### zykl. CNS-Versuche

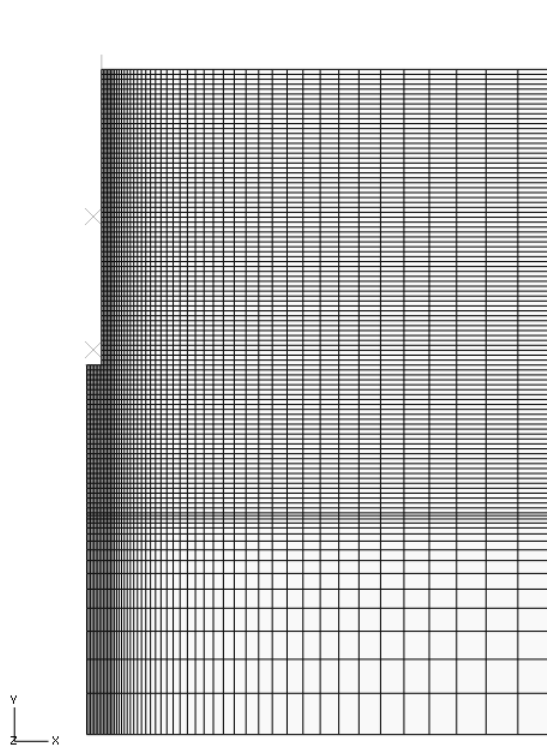


**Constant-Normal-Stiffness-Test:**

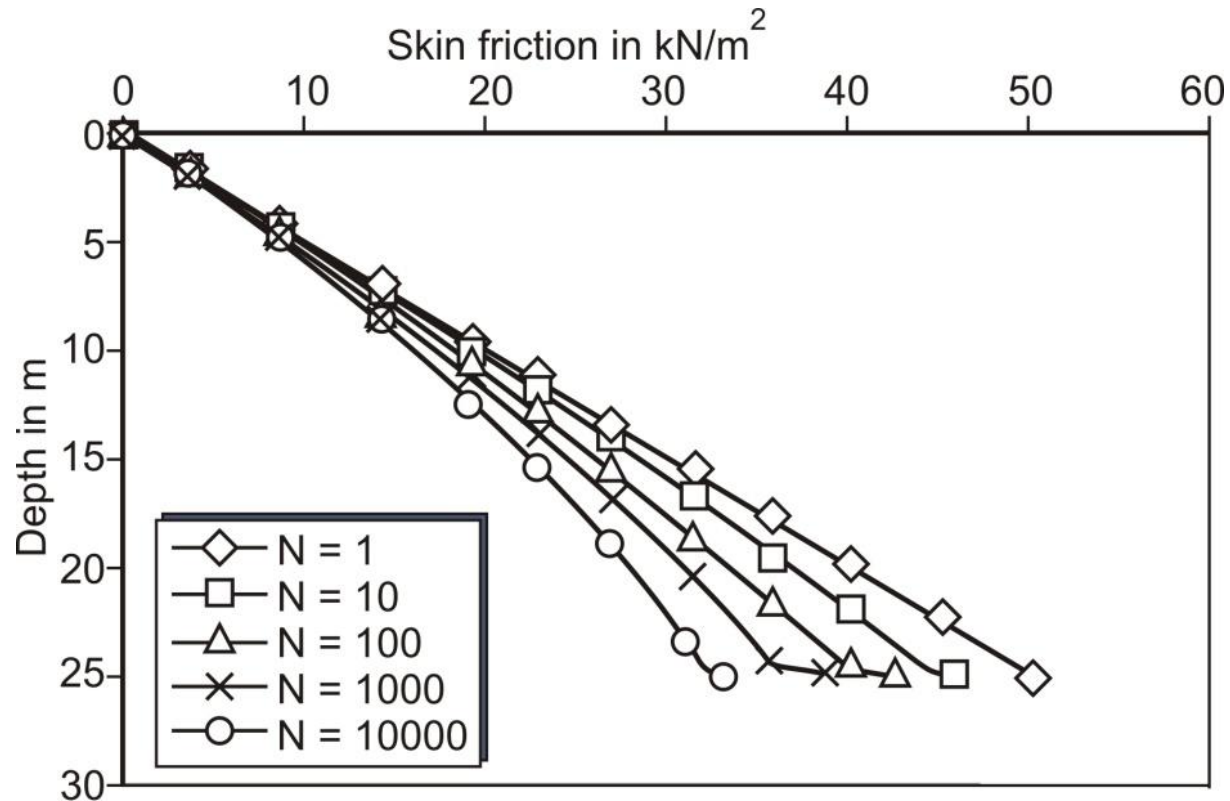
- Simulation der Mantelreibungsdegradation durch Anpassung der Auflast bei Volumenänderung der Bodenprobe
- Anpassung durch Federsteifigkeit  $k_b$  und gemessene Setzung  $\Delta u$

# Numerische Untersuchungen am IGBE

Entwicklung eines FE-Modells zur Simulation der Mantelreibungsdegradation



FE-Modell (ABAQUS)



Mantelreibungsdegradation unter zyklischer Last (D=2,5 m, L=25 m)

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**