



---

## Ocean Breeze Energy GmbH & Co. KG

---

### Hydrodynamisches Design und Zertifizierung von Offshore- Windenergieanlagen

Dr. Kai Irschik



# Vorstellung

- Ocean Breeze Energy GmbH & Co. KG
  - Betreiberin Windpark BARD offshore 1
  - *Hersteller* Windenergieanlage BARD 5.0
- Zur Person
  - Promotion am LWI/FZK: Belastung schlanker Zylinder
  - Beteiligung an der Entwicklung diverser Windenergieanlagen (2006: BARD 5.0, Multibrid M5000, 5kW – 8MW)
  - Aufbau einer Zertifizierungsstelle für Windenergieanlagen
  - Aktuell: Projektzertifizierung BO1





# Hydrodynamisches Design und Zertifizierung von Offshore-Windenergieanlagen

- **Auslegung einer Tragstruktur berücksichtigt viele Aspekte neben dem hydrodynamischen Design, jedoch soll der Fokus heute genau darauf liegen**
  - **Bodenverhältnisse**
  - **Wassertiefe**
  - **WEA – Typ**
  - **Lastreduzierende Regelung**
  - **Installationsrisiko: Rammen, Suction Bucket**
  - **Transport, Installation: Krankapazität, Gewicht**
  - **Herstellerkapazitäten: Durchmesser, Qualität**
  - **Herstellungskosten: Länge der Scheißnähte, Komplexität der Herstellung**
  - **Herstellungsgrenzen: Durchmesser, Abmessungen**
  - **Stand der Technik und Richtlinien**
  - **Innovationsrisiko**
  - **Inspektionsaufwand**
  - **...**
  - **Hydrodynamisches Design und Lastannahmen**



# Erfahrungsbericht zu hydrodynamischer Belastung

# Hydrodynamisches Design – Lastannahmen

## Einfluss auf Tragstruktur & RGB

---

- **Relevanz für Tragstruktur (Turm & Jacket/Monopile ...)**
  - Für jede Tragstruktur ist das hydrodynamische Design relevant
  - Methodische Unterschiede treten jedoch je nach Schlankheit und Steifigkeit hervor.
  
- **Einfluss auf Rotor-Gondel Baugruppe ist abhängig von Tragstruktur:**
  - Steife, schlanke Struktur: geringer Einfluss - Jacket
  - Lämmerschwanz: großer Einfluss auf Auslegungslasten - Tripile, schlanker Monopile

# Auslegung Tragstruktur

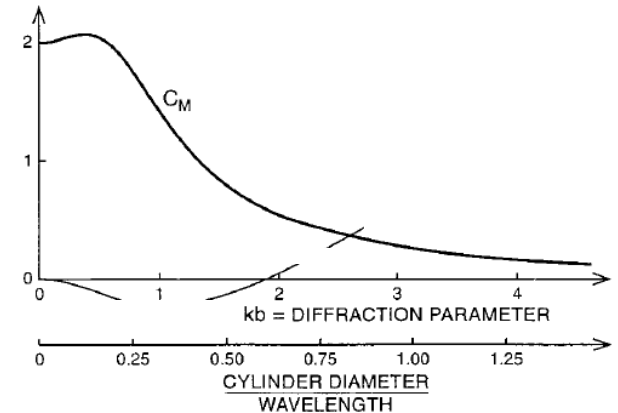
## Kriterien

---

- **Wenn möglich: Monopile**
  
- **Auslegungskriterien**
  - Eigenfrequenz (Fundament einer Maschine!, Auslegungslasten der WEA)
  - Grenzzustand der Tragfähigkeit      ULS, Extremlasten // Bruch
  - Grenzzustand der Tragfähigkeit      FLS, Betriebsfestigkeitslasten // Ermüdung
  
- **Richtlinien für Lastannahmen**
  - GL-IV-2:2012                      Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines
  - IEC 61400-3-2009                Design Requirements for Offshore Wind Turbines
  - DNVGL-ST-0437:2016        Loads and Site Conditions for Wind turbines
  - ISO 19902:2007                Fixed steel offshore structures

### Ermittlung der hydrodynamischen Belastung

- MOJS (Morison)
  - Kraftkoeffizienten  $C_M$ ,  $C_D$
  - Wellenkinematik
- MacCamyFuchs linear diffraction approximation
  - Anpassung  $C_M$ (Wellenlänge, Durchmesser)
  - oft auch Anpassung der spektralen Amplitude statt  $C_M$
- Kurzkämmiger Seegang // directional spreading
  - Cos2s Modell recht bekannt, generell in den Richtlinien verankert
  - Mittlerweile auch Ausgabe der Hindcast Modelle
- Umfangsverteilung Wind und Welle
  - Rotor-Gondel dreht mit -> daher onshore nicht interessant
  - Tragstruktur steht fest; Belastung verteilt sich
- Misalignment Wind und Welle
  - Unterschiedliche aerodynamische Dämpfung in fore-aft und side-side
  - Unsymmetrische Tragstruktur (Tripile); sensitive Anlaufrichtung



### Ermittlung der hydrodynamischen Belastung

- MOJS (Morison) - Formel
- MacCamy-Fuchs diffraction approximation
- Kurzkämmiger Seegang // directional spreading
- Umfangsverteilung Wind und Welle
- Misalignment Wind und Welle

} „alles berücksichtigt“

- Unterschied Betriebslasten (fatigue) zwischen „einfach MOJS“ und aufwendig „alles berücksichtigt“: 50 – 70 %
- **oder Lebensdauer 60 Jahre statt 4 Jahre**



# Belastung schlanker Zylinder

## Ermittlung der hydrodynamischen Belastung

- MOJS (Morison) - Formel
- MacCamy-Fuchs diffraction approximation
- Kurzkämmiger Seegang // directional spreading
- Umfangsverteilung Wind und Welle
- Misalignment Wind und Welle

} „alles berücksichtigt“



**Methoden sind in Richtlinien implementiert**

**Jedoch: Unsicherheiten bei Anwendung**



# Wünsche an die Wissenschaft



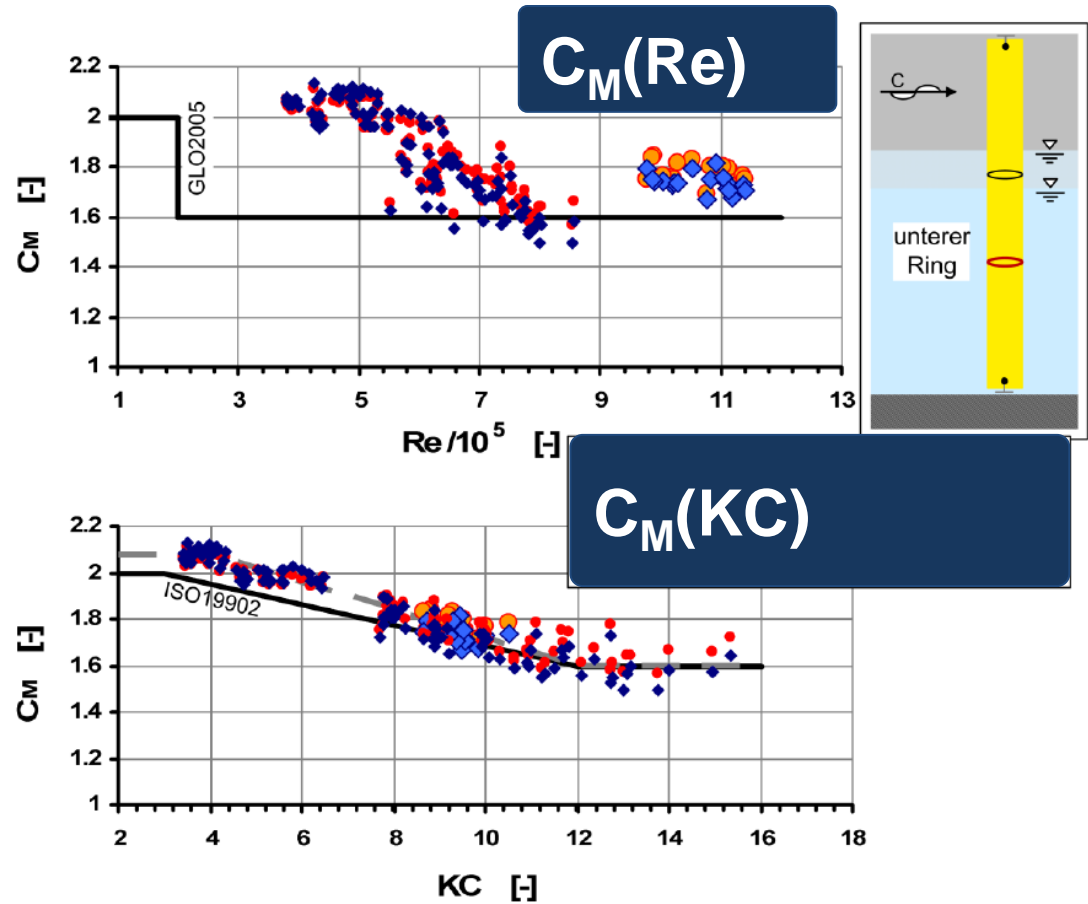
# MOJS Kraftkoeffizienten

---

- **Aktuell meist Standardwerte nach ISO 19902:2007 „Fixed steel offshore structures“**
- **Vereinfacht:  $C_M$ ,  $C_D$  (KC,  $\emptyset$ )**

# MOJS Kraftkoeffizienten

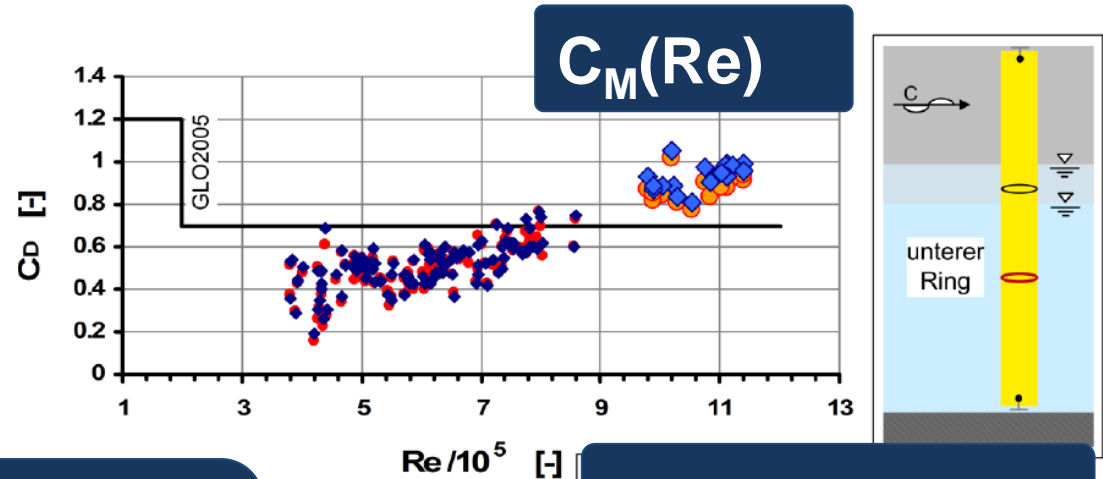
**$C_M$ -Koeffizient aus  
Messungen der Linienkraft  
und Partikelkinematik  
FZK, 1998/2000**





# MOJS Kraftkoeffizienten

**$C_D$ -Koeffizient aus  
Messungen der Linienkraft  
und Partikelkinematik  
FZK, 1998/2000**

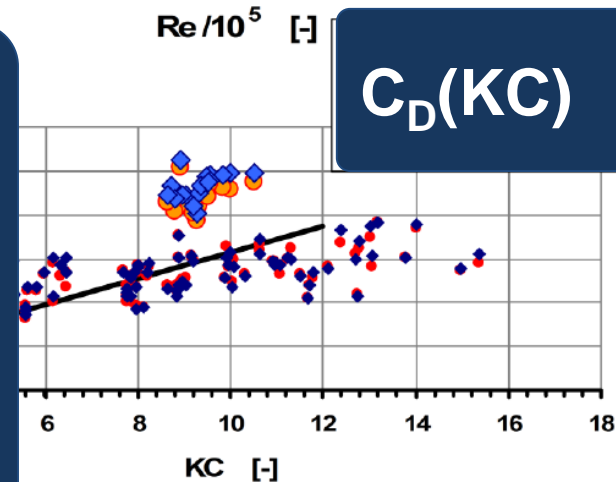


FZK Untersuchungen 1998/2000:

**$C_M(KC)$  bestätigt**

**$C_D(KC)$  nicht bestätigt ->  $C_D(Re)$**

- für flache Wellen
- für fast brechende Wellen





## MOJS Kraftkoeffizienten

---

- Aktuell meist Standardwerte nach ISO 19902:2007 „Fixed steel offshore structures“
- Vereinfacht:  $C_M$ ,  $C_D$  (KC,  $\emptyset$ )



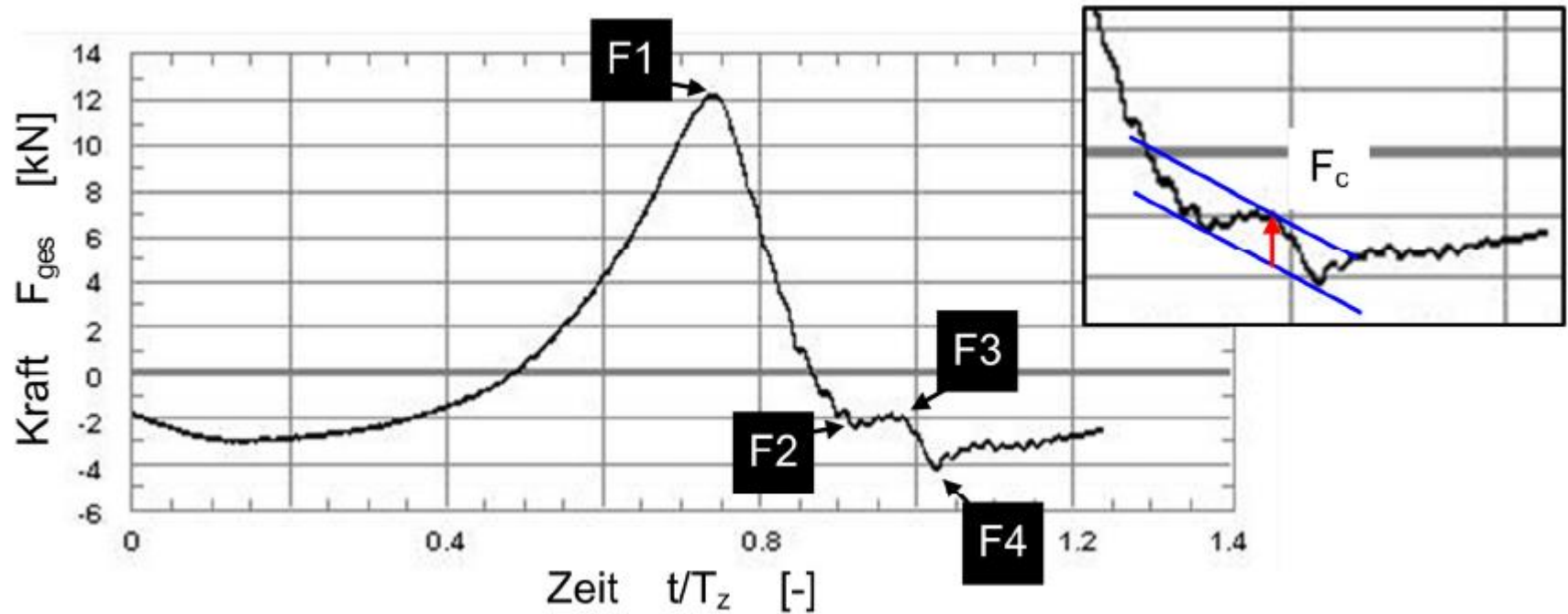
Unstimmigkeit auflösen  
Breite Datenbasis wünschenswert  
insbesondere flache und **steile** Wellen



z.B. Berücksichtigung von Anbauten (IEC  
61400-3)

## Ringing – sekundärer Lastzyklus

- **Auflauf und Sunk am Zylinder; durch MOJS nicht beschrieben werden**
- **Schwingung von F1 bis F4**
- **Kein Ingenieursmodell vorhanden**



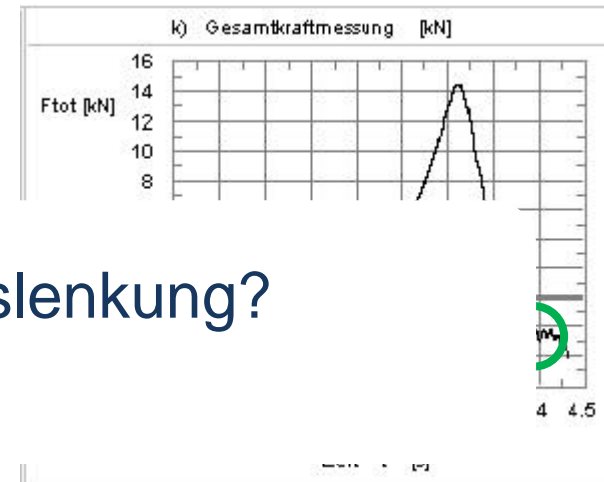
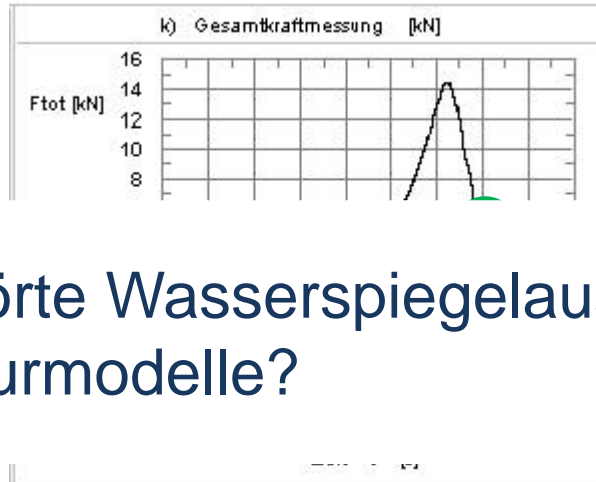
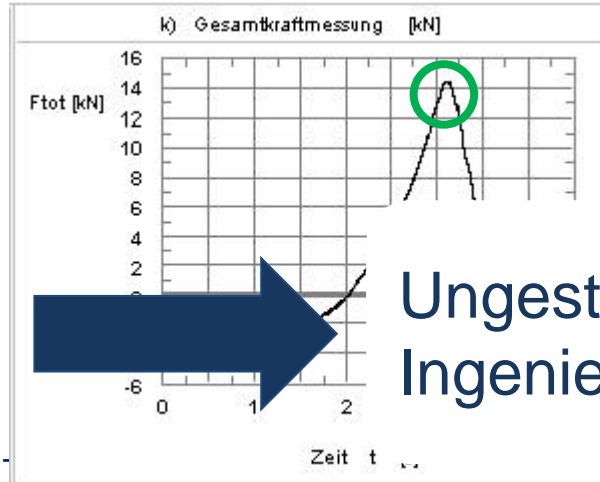
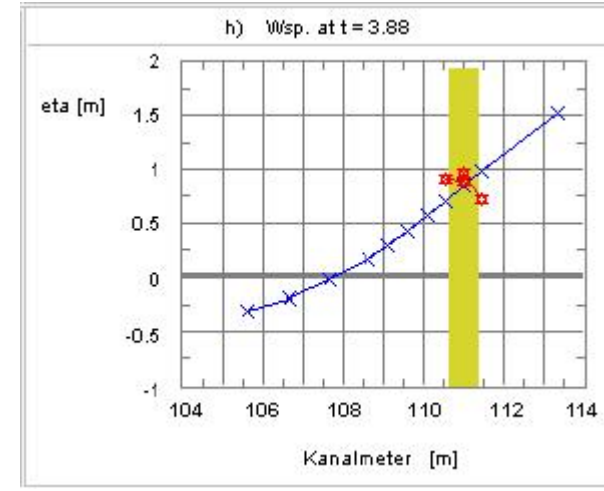
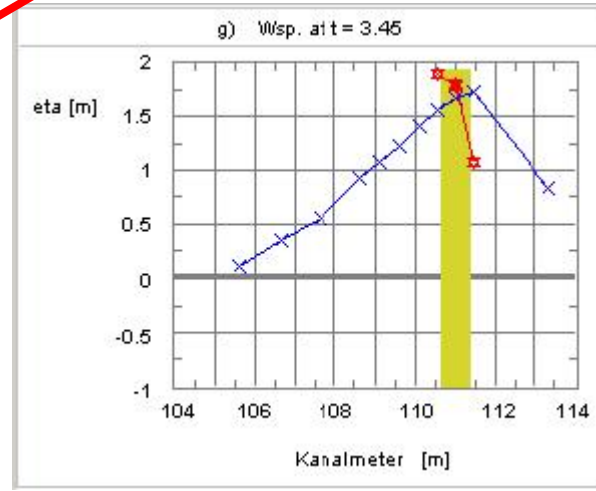
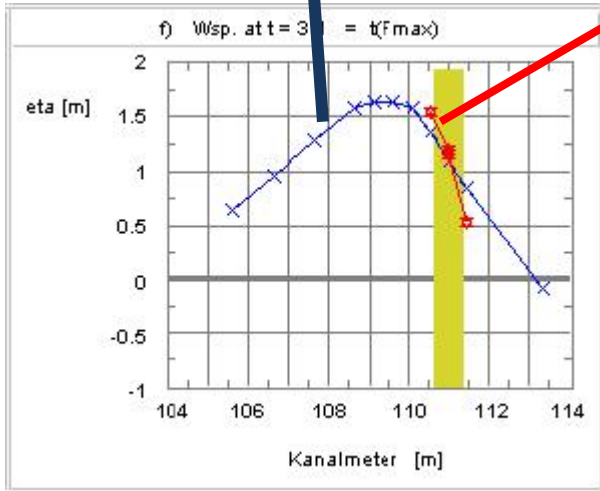
# Ringing – sekundärer Lastzyklus

ungestörte Welle

– benetzter Zylinder

Wasserspiegelauslenkung

Belastung



Ungestörte Wasserspiegelauslenkung?  
Ingenieurmodelle?





# Zusammenfassung

---

- **Die Richtlinien werden kontinuierlich überarbeitet**
- **Viele Methoden sind bereits enthalten und für die Ermittlung der hydrodynamischen Auslegung verfügbar**
- **Im konkreten Anwendungsfall ist die Bestimmung von Eingangsgrößen möglich, jedoch immer noch mit Unsicherheiten verbunden (Kraftkoeffizienten, Berücksichtigung von Anbauten, directional spread)**
- **Die Darstellung der Kraftkoeffizienten nach ISO 19902 konnte in großmaßstäblichen Versuchen nur für  $C_M$  bestätigt werden. Für  $C_D$  wurde eine andere Abhängigkeit festgestellt.**
- **Für die Belastung durch ringing fehlt im Moment noch ein anwendbares Ingenieursmodell. Dies tritt bei sehr steilen Wellen auf.**