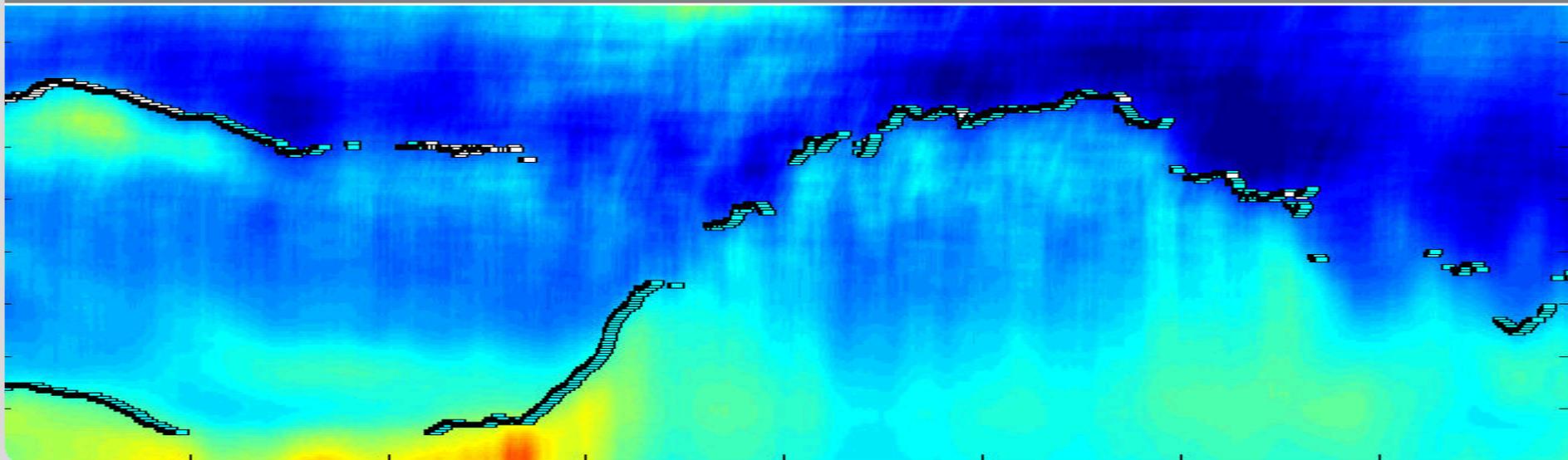


# Verbesserungen der Turbulenzparametrisierung in mesoskaligen Windfeldmodellen

Richard Foreman, Stefan Emeis  
stefan.emeis@kit.edu

INSTITUTE OF METEOROLOGY AND CLIMATE RESEARCH, Atmospheric Environmental Research



## Herausforderungen durch die moderne Windenergienutzung:

### - offshore

- tieferes Wasser
- flache Grenzschichten
- windgeschwindigkeitsabhängige Rauigkeit und Turbulenz

### - Stromnetzmanagement

- kurzfristige Windvorhersagen
- Berücksichtigung von low-level jets
- cross-over height (Tagesgang der Windgeschwindigkeit) → Poster 3\_P\_3

→ verlässliche mesoskalige Windfeldmodelle mit korrekter Beschreibung der Turbulenz

## Gliederung:

### verbesserte Beschreibung der Ozeanoberfläche

- keine Infos über die Wellen verfügbar:  
Widerstandsbeiwert (drag coefficient) der Ozeanoberfläche  
als Funktion der Windgeschwindigkeit
- Infos über die Wellen verfügbar:  
Widerstandsbeiwert der Ozeanoberfläche als Funktion der  
Geometrie der Wellen

### verbesserte Beschreibung der Turbulenz

- Modifikation der „Konstanten“ in der MYJ-Turbulenzparametrisierung



**ohne Informationen über die Wellen:  
Widerstandsbeiwert (drag coefficient) der Ozeanoberfläche  
als Funktion der Windgeschwindigkeit**

## Widerstandsbeiwert (neutrale thermische Schichtung)

$$C_{Dn} = u_*^2 / U^2$$

$$= \kappa^2 / \ln^2(z/z_0)$$

(über Land: logarithmisches Profil)

$C_{Dn}$  ist nur von Oberflächeneigenschaften abhängig

$$= \kappa^2 / \ln^2(gz/\alpha u_*^2)$$

(über See: Charnock-Beziehung)



$C_{Dn}$  ist auch von Windgeschwindigkeit abhängig

$$C_{D10n} = (0,079 U_{10} + 0,4) \cdot 10^{-3}$$

## im voll turbulenten Bereich:

### Schubspannungsgeschwindigkeit:

$$u_* = 0,051 U_{10} - 0,14$$

einsetzen in die Definition von  $C_D$   
liefert:

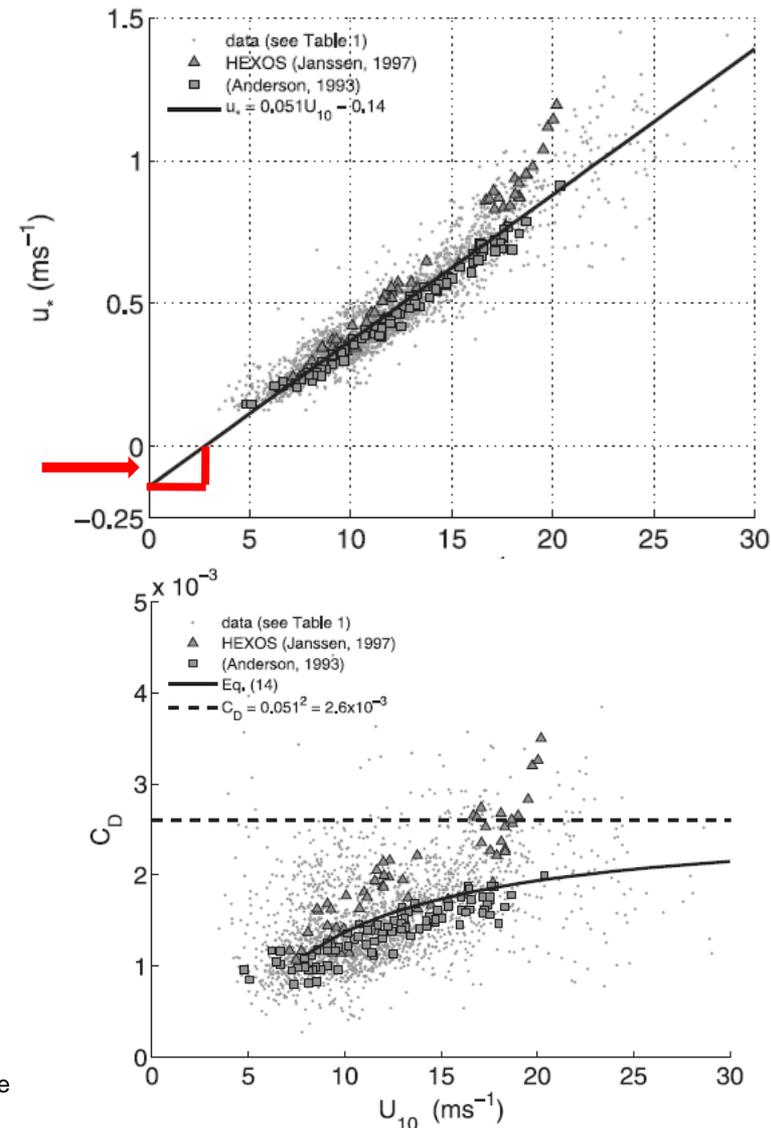
$$C_{D10n} = (0,051 U_{10} - 0,14)^2 / U_{10}^2$$

$$C_{D10n} = (C_m U_{10} - b)^2 / U_{10}^2$$

konvergiert für große  $U_{10}$  gegen

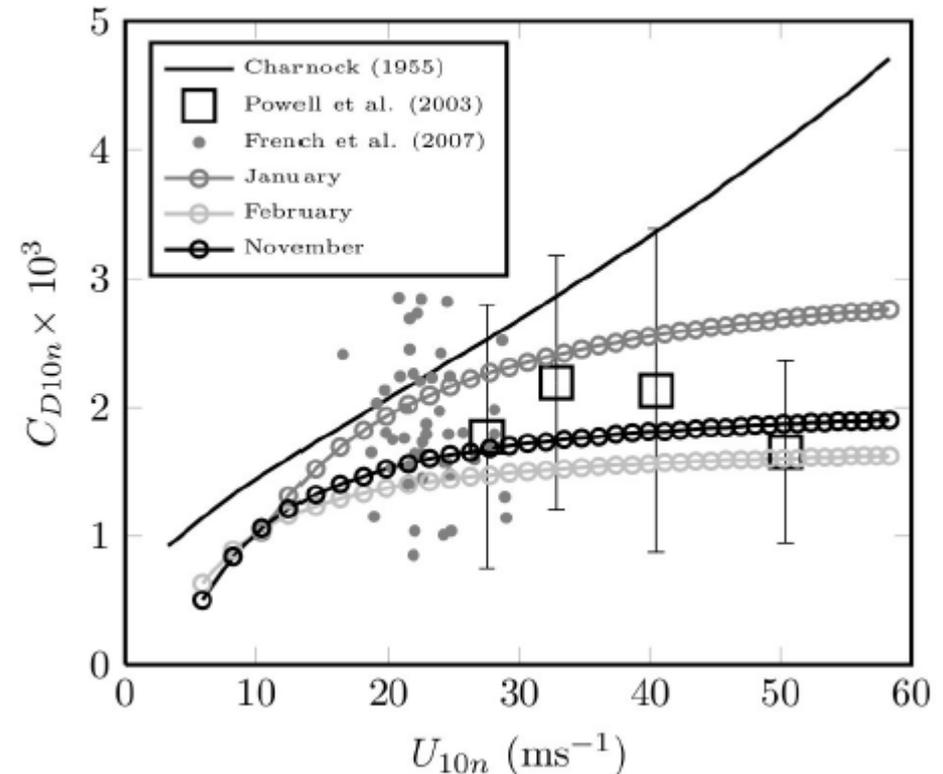
$$C_m^2 = 0,051^2 = 0,0026$$

Foreman, R., S. Emeis, 2010: Revisiting the Definition of the Drag Coefficient in the Marine Atmospheric Boundary Layer. J. Phys. Oceanogr., **40**, 2325-2332.



## Vergleich gegen Daten

	$C_m$	$b$
Literatur	0,051	0,14
FINO Jan 2005	0,057	0,26
FINO Feb 2005	0,042	0,01
FINO Nov 2005	0,048	0,02



☀ Beschreibung für  $C_{D10n}$  ist immer noch windgeschwindigkeitsabhängig und die Grafik rechts hat den Nachteil, dass eine dimensionsfreie Größe gegen eine dimensionsbehaftete Größe aufgetragen ist.

# 2

**mit Informationen über die Wellen:  
Widerstandsbeiwert der Ozeanoberfläche als Funktion der Geometrie  
der Wellen**

$$f(H_s, T_p, U_{10}, u_*, g) = 0$$

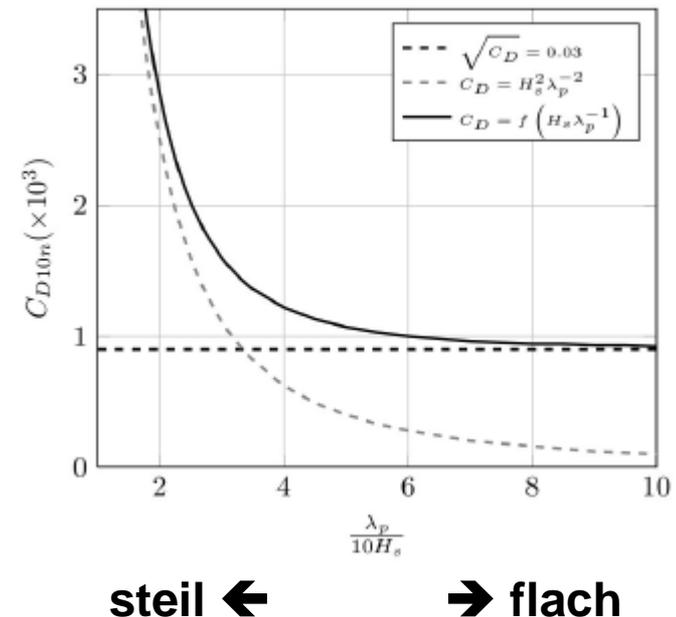
mit signif. Wellenhöhe  $H_s$  und Wellenperiode  $T_p$

Dimensionsanalyse (Buckingham) liefert:

$$C_{D10n} = a (H_s/\lambda_p)^2 \quad (\text{graue gestr. Kurve})$$

Der Widerstandsbeiwert geht für sehr flache Wellen aber nicht gegen Null, sondern gegen einen kleinen konstanten Wert für eine glatte Oberfläche.

$$C_{D10n} = 0,0009 \quad (\text{waagerechte Linie})$$



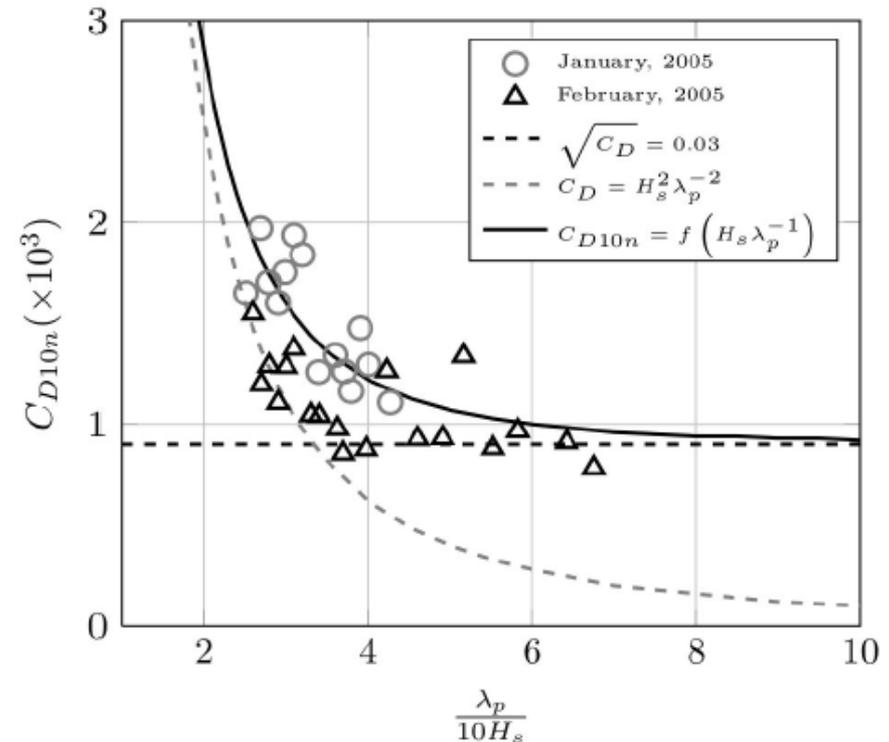
die Wahrheit liegt dazwischen:

$$(C_{D10n}^{1/2})^n = 0,03^n + (H_s/\lambda_p)^n$$

(durchgezogene Kurve)

wobei n empirisch bestimmt werden muss ( $n \approx 3$ ).

(Methode nach Churchill und Usagi 1972)



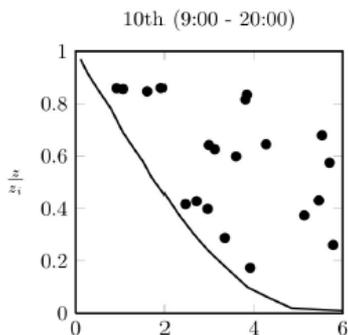
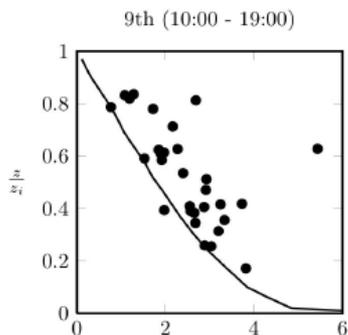
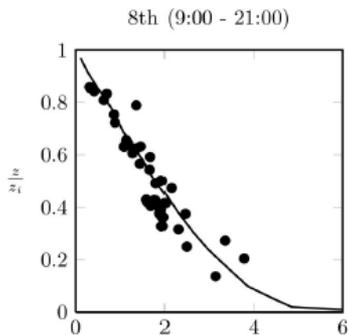
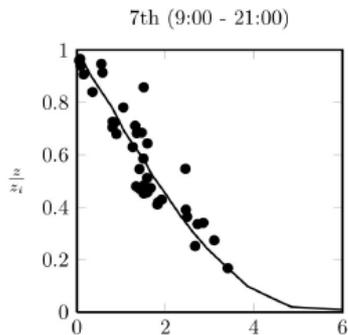
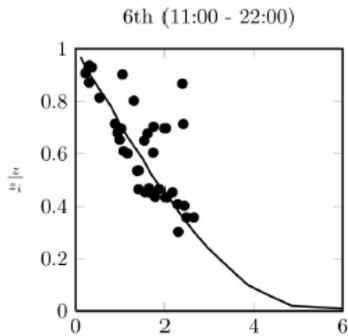
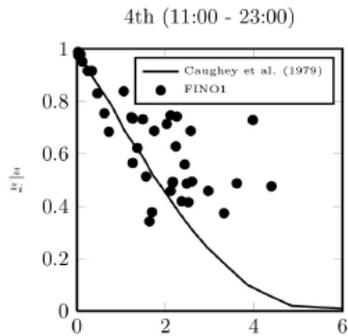
steil ←

→ flach

☺  $C_{D10n}$  hängt jetzt nur noch von Oberflächenparametern ab und in dem Diagramm sind jetzt zwei dimensionsfreie Größen gegeneinander aufgetragen

# 3

## Modifikation der „Konstanten“ in der MYJ-Turbulenzparametrisierung



$$\text{TKE}_+ \approx \overline{u'^2}_+$$

$$\text{TKE}_+ \approx \overline{u'^2}_+$$

stabile interne  
Grenzschicht

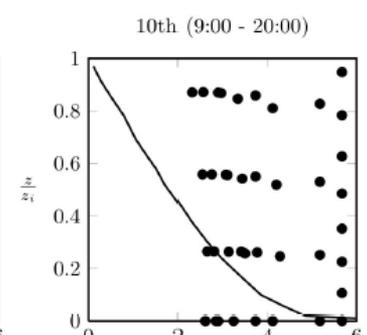
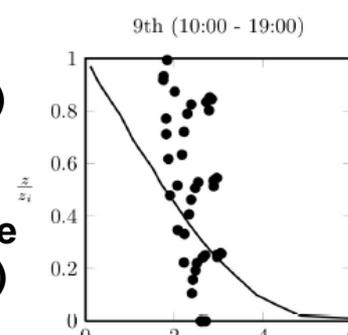
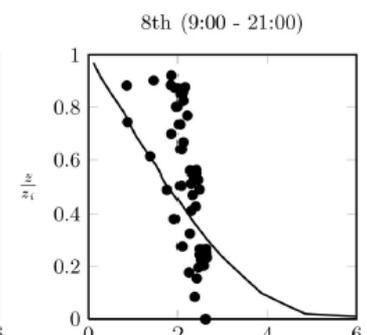
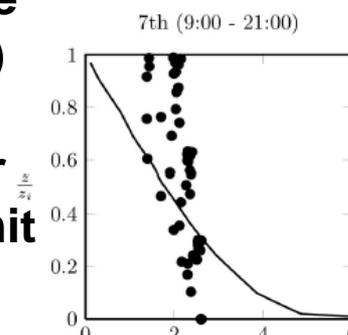
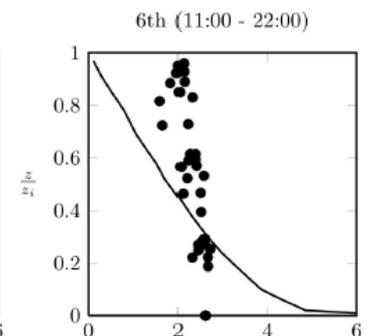
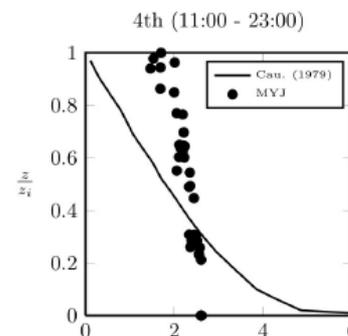
turb. kin. Energie  
(mit  $u_*$  normiert)

als Funktion der  
Höhe (normiert mit  
der Höhe der  
internen GS)

$$h = 0,014U \sqrt{(x\Theta)/(g\Delta\Theta)}$$

(Garratt 1987)

durchgezogene Kurve  
Caughey et al. (1979)  
onshore-Daten



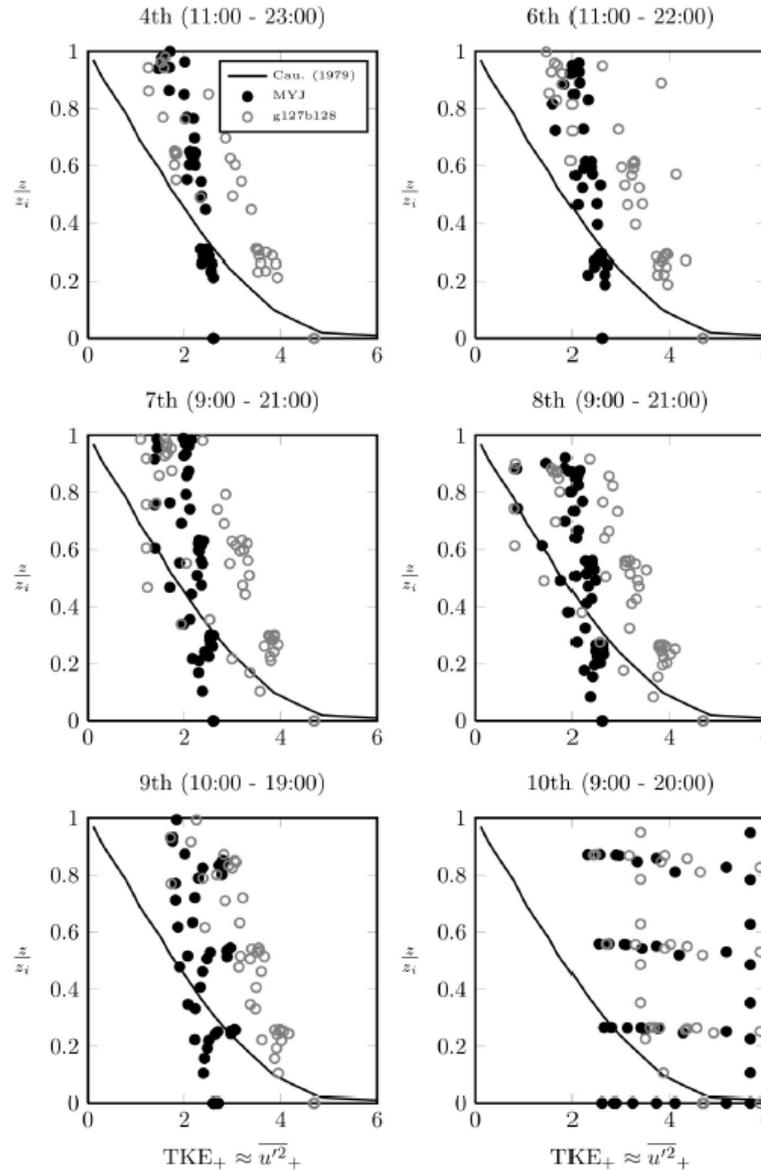
$$\text{TKE}_+ \approx \overline{u'^2}_+$$

$$\text{TKE}_+ \approx \overline{u'^2}_+$$

**verbesserte Messungen im Labor (höhere Reynolds-Zahlen und kleinere Wandabstände) erlauben eine Neubestimmung der „Konstanten“ im Modell:**

	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>
<b>MY 1982</b>	<b>0,92</b>	<b>0,74</b>	<b>16,6</b>	<b>10,1</b>	<b>0,08</b>
<b>MYJ 2002</b>	<b>0,660</b>	<b>0,657</b>	<b>11,878</b>	<b>7,227</b>	<b>0,00083</b>
<b>neu</b>	<b>0,91</b>	<b>0,54</b>	<b>28,76</b>	<b>13,08</b>	<b>0,15</b>

**ebenfalls angepasst werden müssen die turbulenten Längenskalen, wobei einem Vorschlag von Nakanishi (2001) gefolgt wird.**



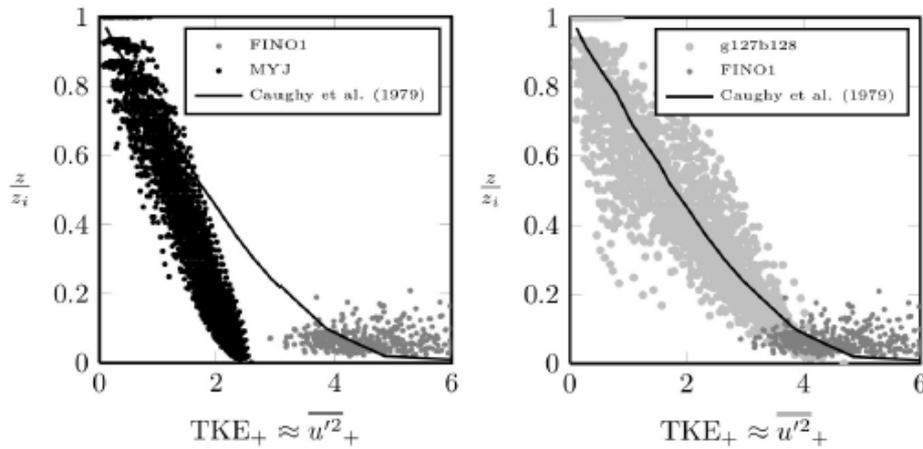
turb. kin. Energie  
(mit  $u_*$  normiert)

als Funktion der  
Höhe (normiert mit  
der Grenzschicht-  
höhe)

Kurve: Caughey et  
al. (1979)

● MYJ  
○ neu

## Vergleich Modellierung mit offshore (FINO1) und onshore (Caughey et al. 1979) Daten

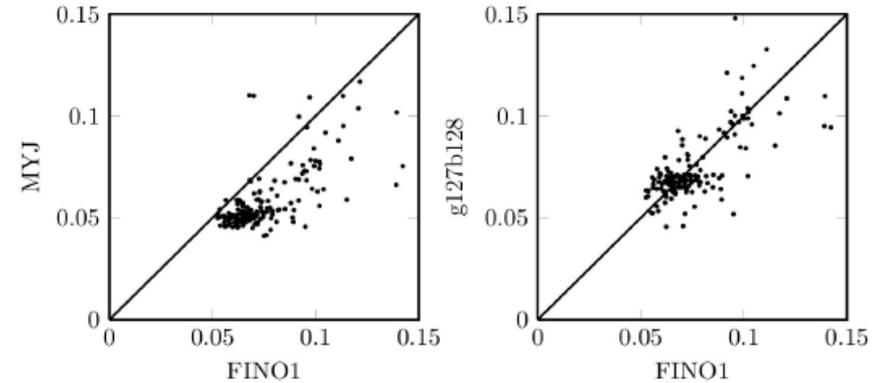


alt

neu

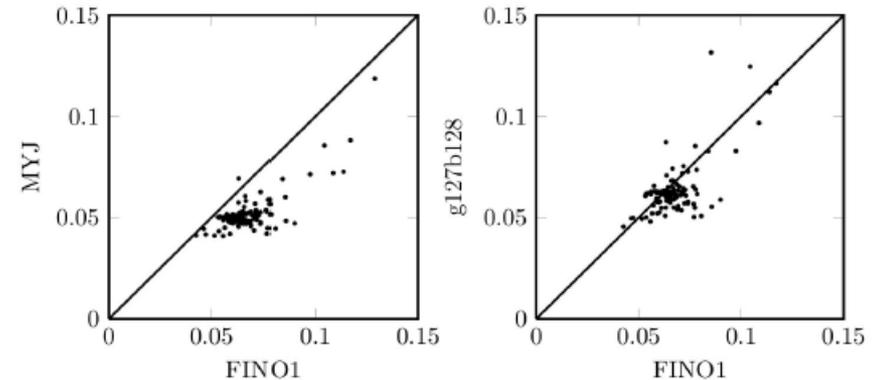
normierte turb. kin. Energie  
Januar 2005

## Turbulenzintensität in 80 m Höhe Februar 2005



alt

neu



Turbulenzintensität in 80 m Höhe  
November 2005

## Zusammenfassung

es wurde eine Beschreibung des Widerstandsbeiwerts der Ozeanoberfläche gefunden, die für höhere Windgeschwindigkeiten das richtige asymptotische Verhalten zeigt **(geeignet für Modellierungen ohne Wellenmodell)**

es wurde eine Parametrisierung des Widerstandsbeiwerts der Ozeanoberfläche gefunden, die von der Steilheit der Wellen abhängt **(geeignet für Modellierungen mit Wellenmodell)**

der Schließungsansatz nach Mellor und Yamada wurde mit aktualisierten „Konstanten“ verbessert, die zu einer verbesserten Beschreibung von Wind- und Turbulenzmodellen über See und über Land führen

**Vielen Dank für  
Ihre  
Aufmerksamkeit**