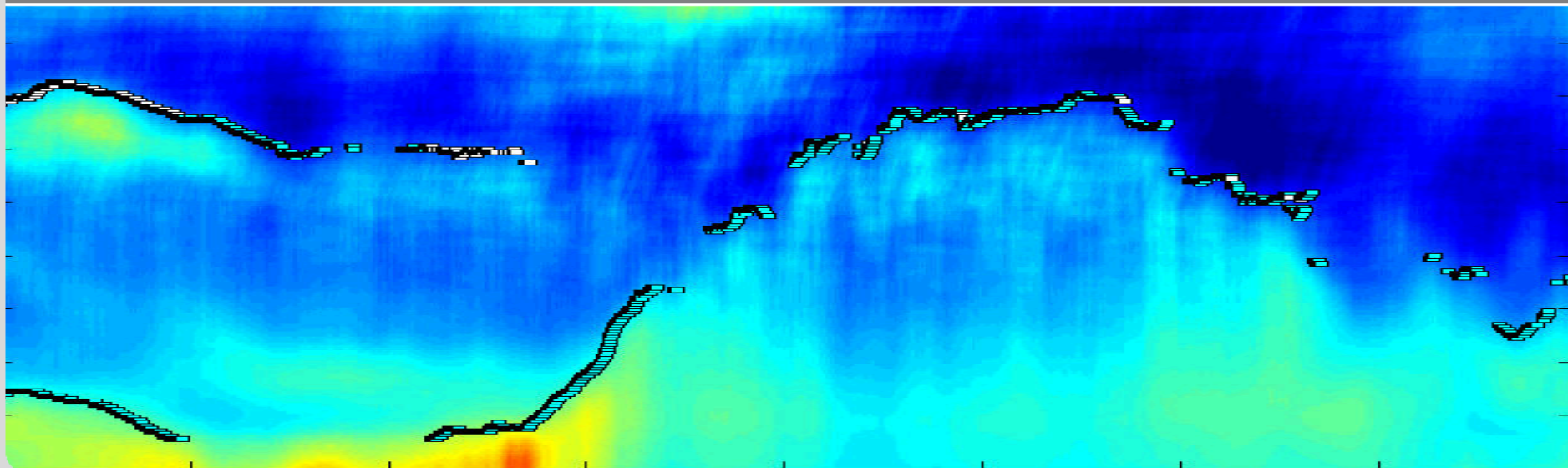


Verbesserungen der Turbulenzparametrisierung in mesoskaligen Windfeldmodellen

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

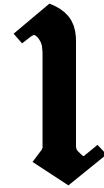
Gliederung:

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:

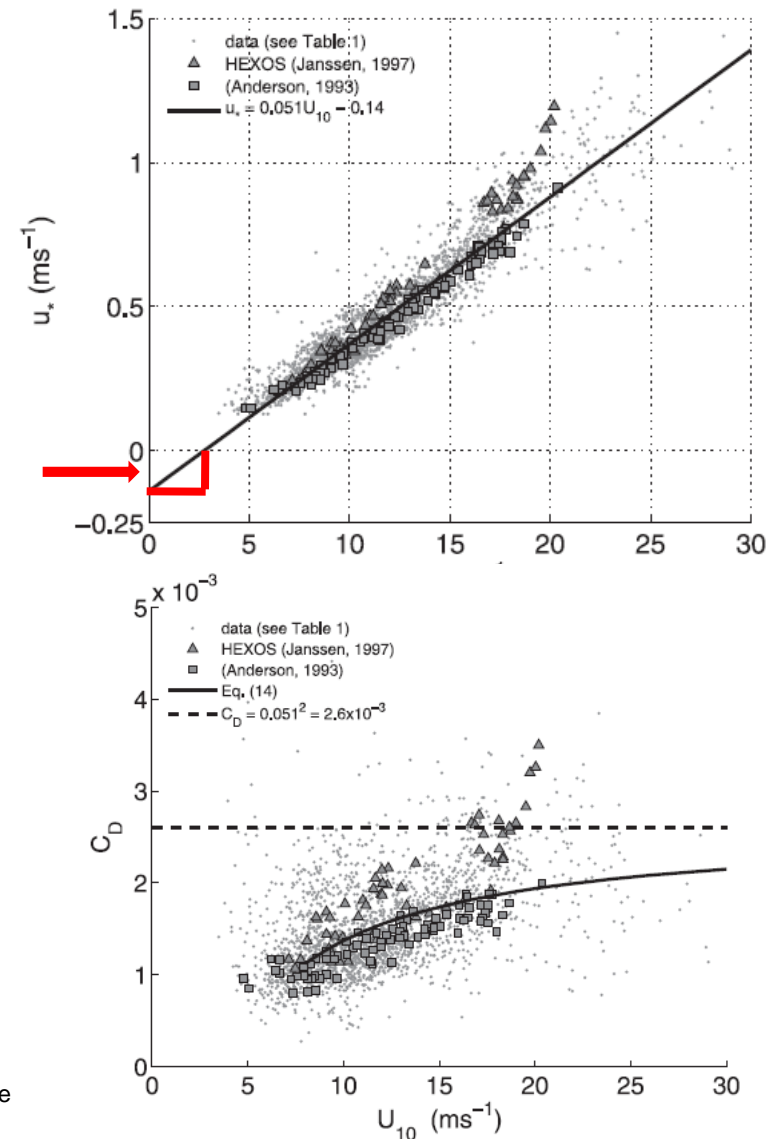
$$C_{D10n} = (0,051 U_{10} - 0,14)^2 / U_{10}^2$$

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

konvergiert für große U_{10} gegen

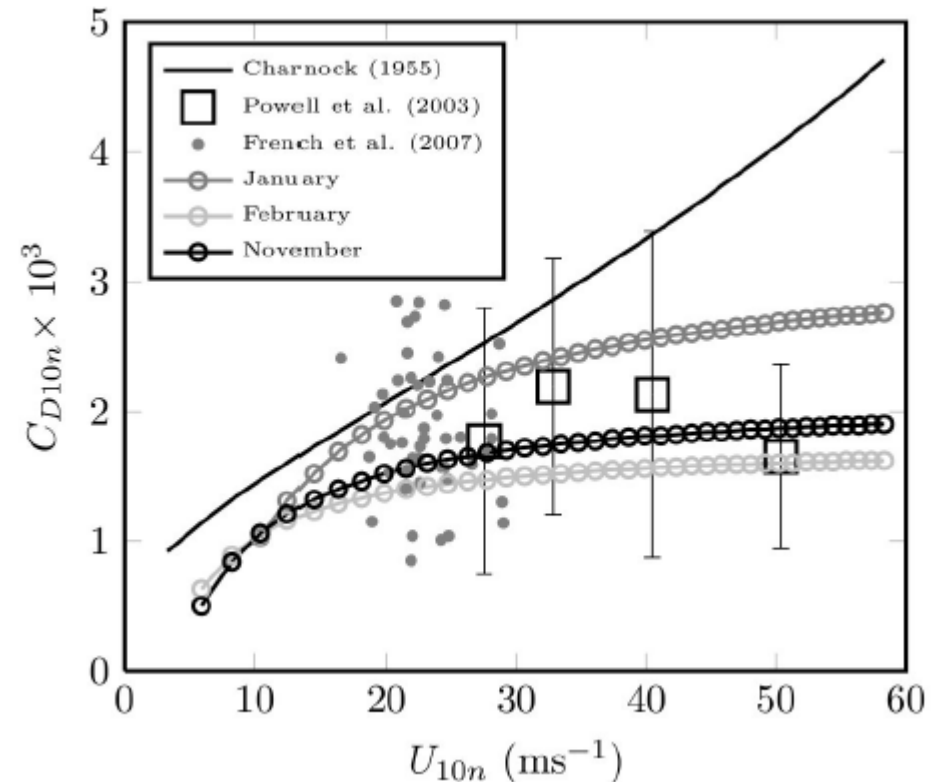
$$C_m^2 = 0,051^2 = 0,0026$$

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**

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

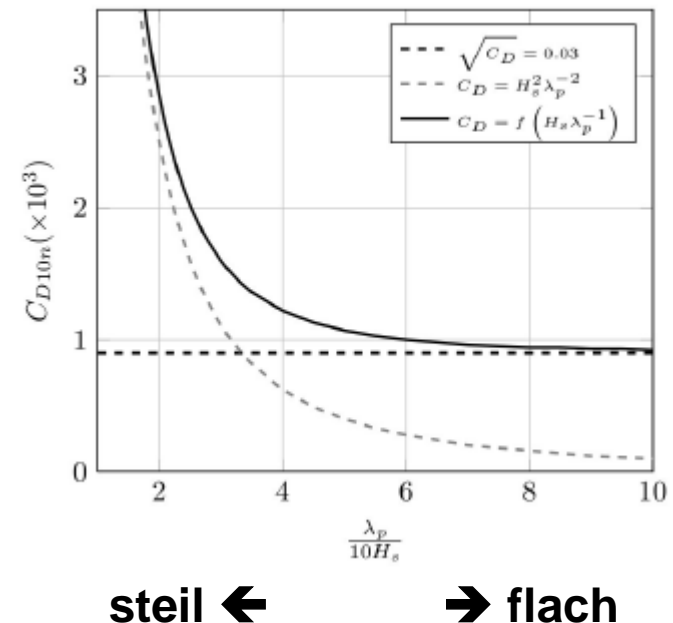
mit signif. Wellenhöhe H_s und Wellenperiode T_p

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.

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



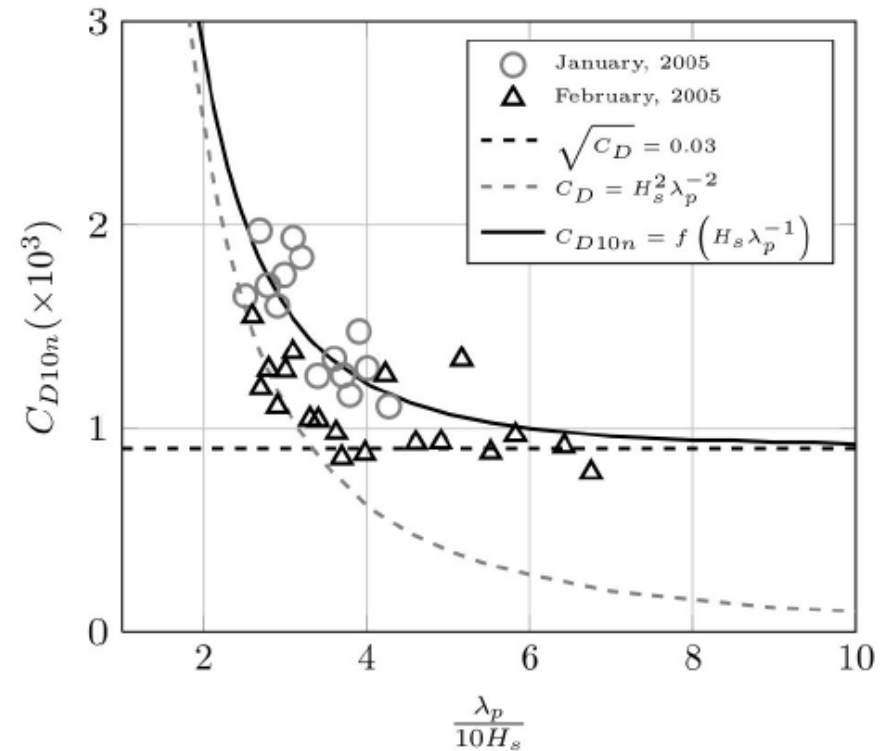
die Wahrheit liegt dazwischen:

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

(durchgezogene Kurve)

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

(Methode nach Churchill und Usagi 1972)



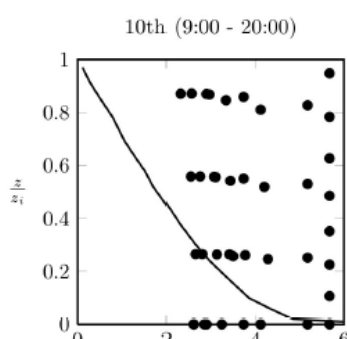
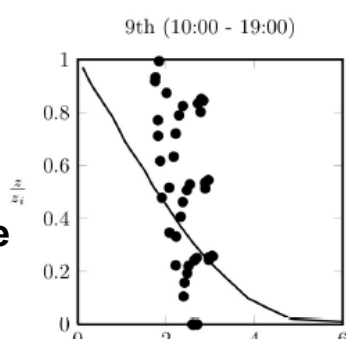
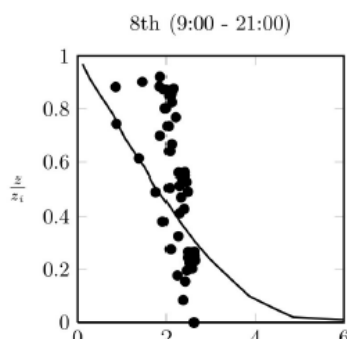
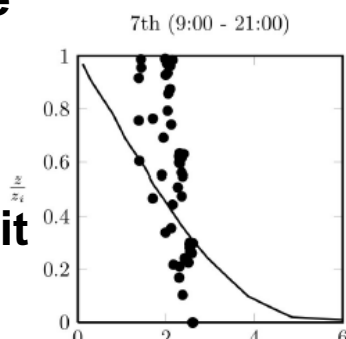
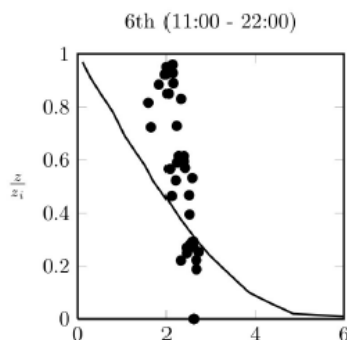
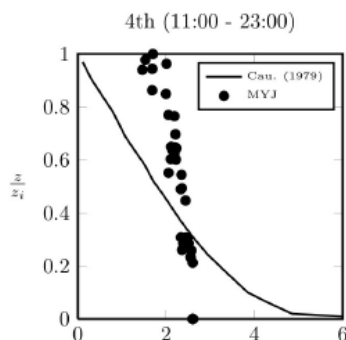
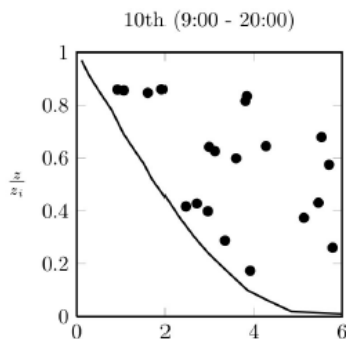
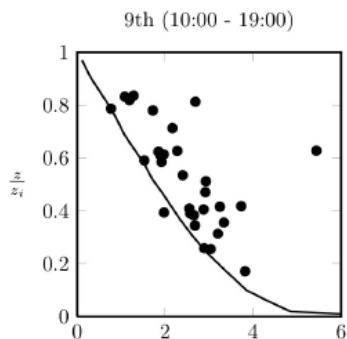
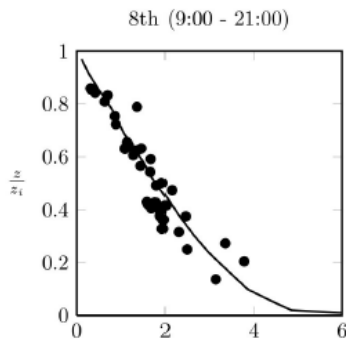
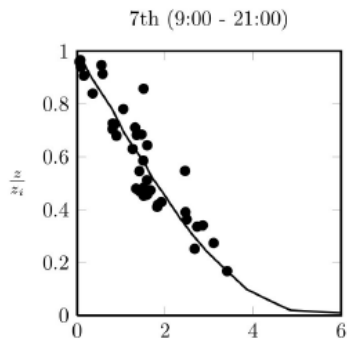
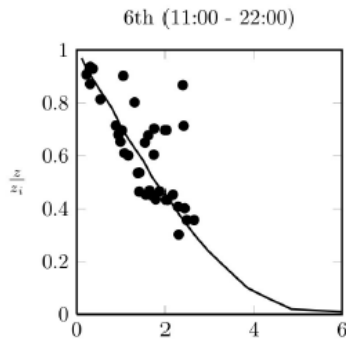
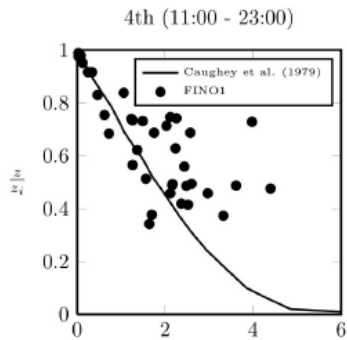
steil ←

→ 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



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

TKE₊ ≈ $\overline{u'^2}_+$

TKE₊ ≈ $\overline{u'^2}_+$

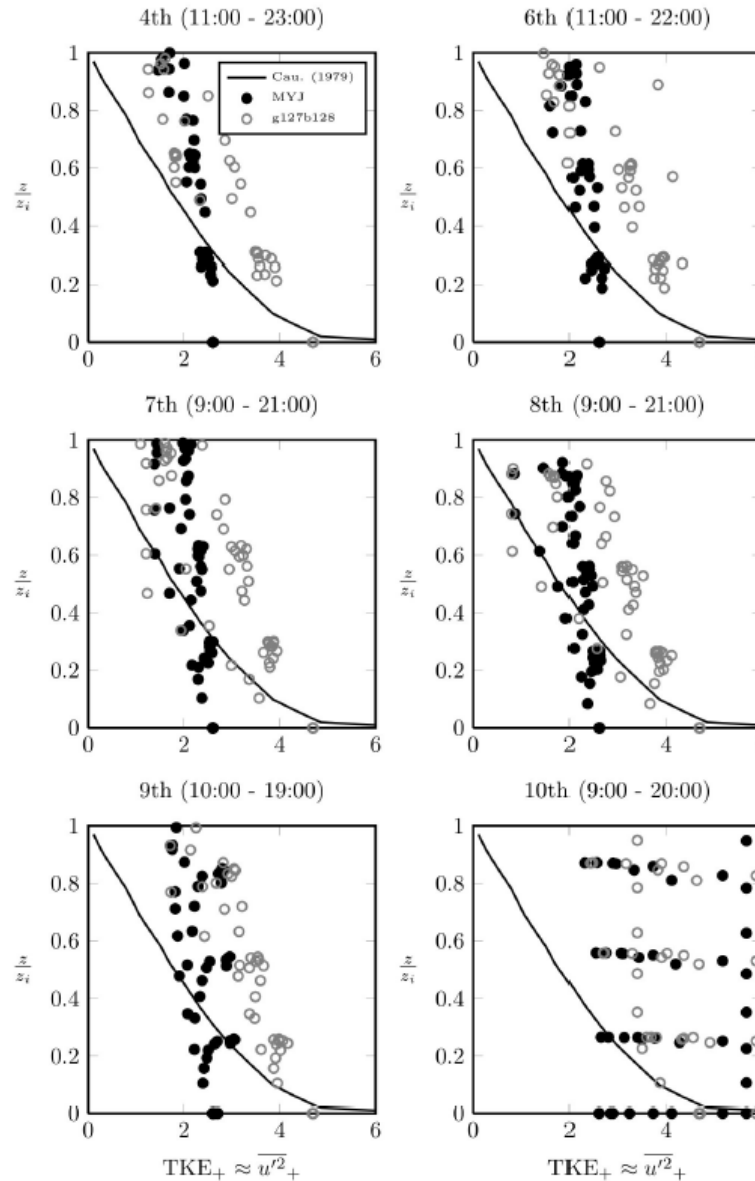
TKE₊ ≈ $\overline{u'^2}_+$

TKE₊ ≈ $\overline{u'^2}_+$

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

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

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



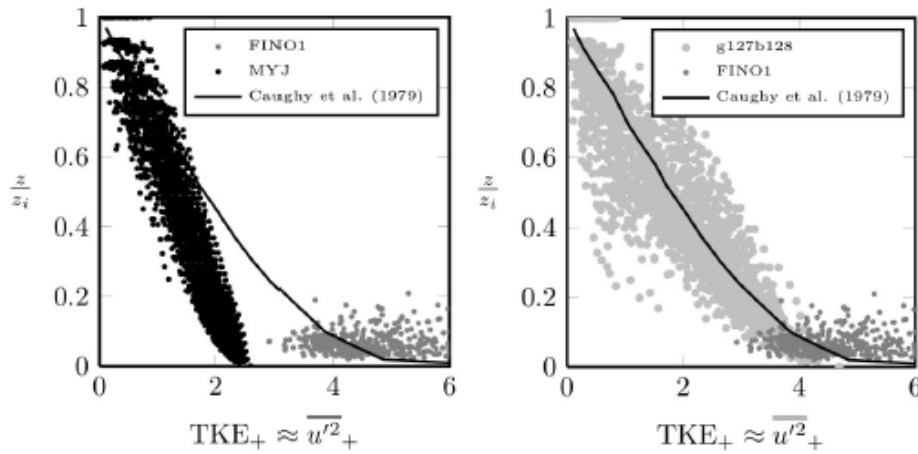
turb. kin. Energie
(mit u_* normiert)

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

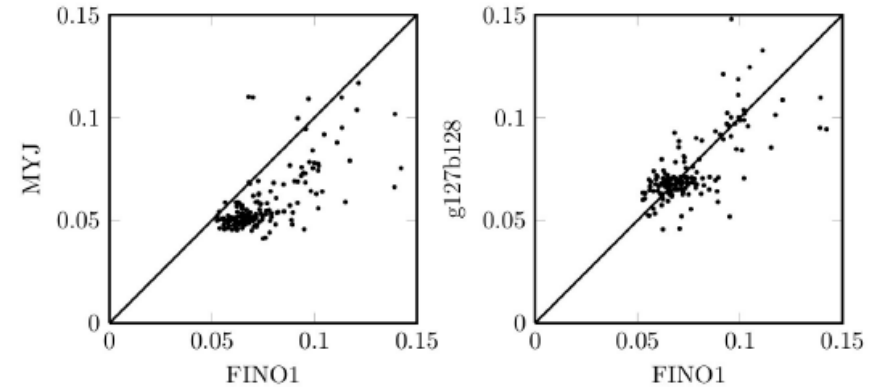


alt

neu

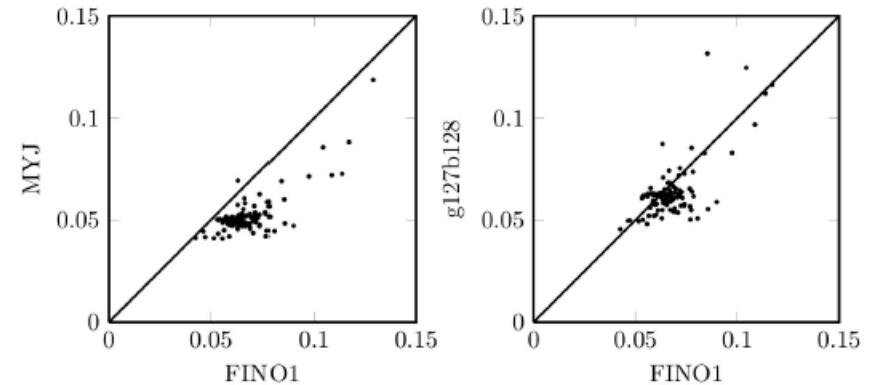
normierte turb. kin. Energie
Januar 2005

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**