



EuroWind

WINDSTROMPROGNOSE

WINDINDEX

WINDSTATISTIKEN

ERTRAGSGUTACHTEN

WETTERBERATUNG

REGIONALKARTEN

DIGITALE GELÄNDEMDELLE

Anmerkungen zur 3-d Modellierung des Windfeldes

Dr. Thomas Sperling, EuroWind GmbH

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

03. November 2008, Osnabrück



- (1) Allgemeine Bemerkungen zu numerischen 3D-Modellen**
- (2) Antrieb und Initialisierung von mesoskaligen Modellen**
- (3) Vertikales Windprofil**
- (4) Rauigkeitsparameterisierung**
- (5) Turbulenzcharakteristik**
- (6) Herausforderungen der 3D-Modellierung**



(1) Allgemeine Bemerkungen zu 3D - Modellen

Übersicht über numerische, prognostische Modelle

- GCM (Wetter, Klima)
- Regionale Modell z.B. DM bzw. LM (Wetter, Klima)
- Mesoskalige Modelle (Stadtklima, Luftreinhaltung)
- Mikroskalige Modelle (Straßenschluchten)
- Relativ jung: Mesoskalen-Modelle für exponierte Standorte (Windenergie)



EuroWind

WINDSTROMPROGNOSE

WINDINDEX

WINDSTATISTIKEN

ERTRAGSGUTACHTEN

WETTERBERATUNG

REGIONALKARTEN

DIGITALE GELÄNDEMDELLE

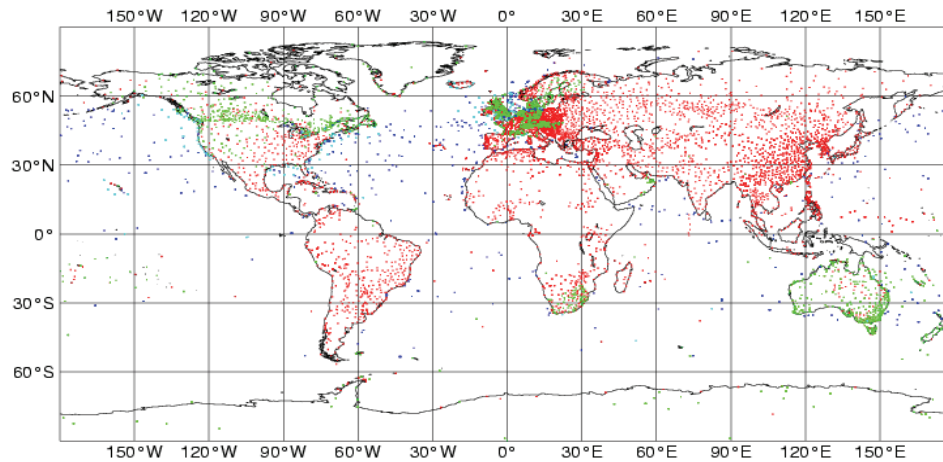
Beobachtungsdaten:

Observation Coverage - ORACLE

Synoptic land stations and ships

Manuel (red), automatic (green) land and manuel (blue), automatic (cyan) ship

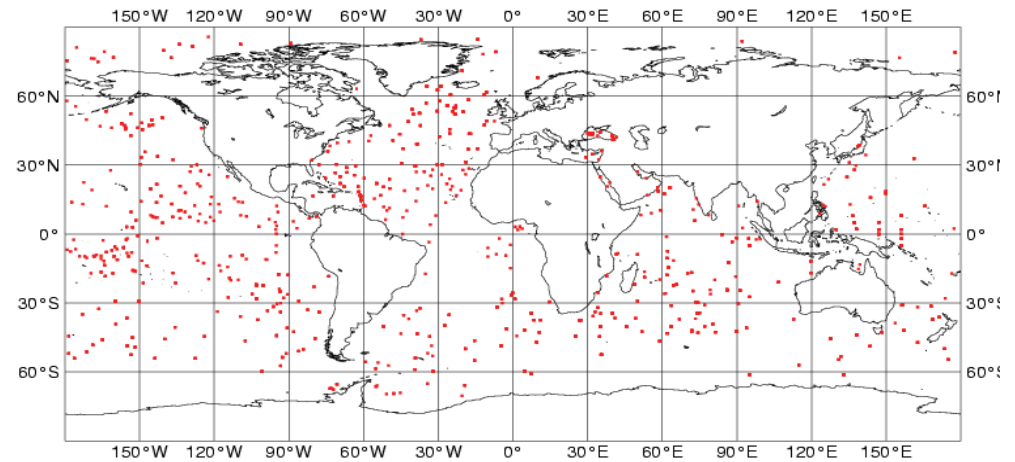
Date/Time: 2002-04-09 11:00 - 2002-04-09 13:00



Observation Coverage - ORACLE

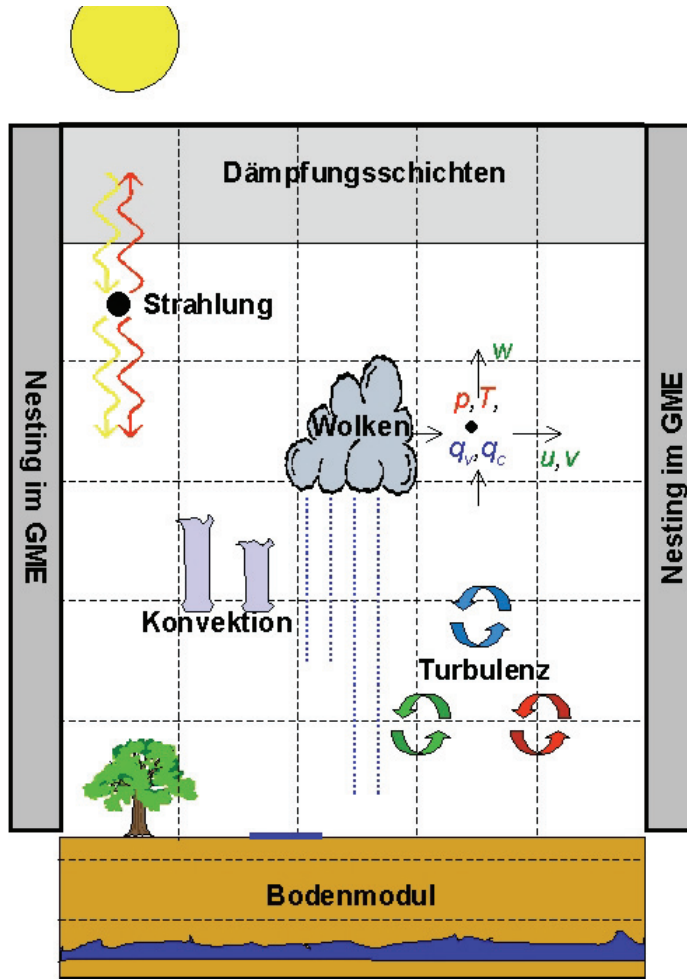
Drifting buoys

Date/Time: 2002-04-09 10:30 - 2002-04-09 13:29





Grundgleichungen des LM (Lokalmodell des DWD)



Skalige, adiabatische Dynamik

- +turbulente Flüsse T, H, F^v, F^c
- +Phasenumwandlung I^c , Regenfluß P
- +Heizrate R

Impulsgl.: $\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\nabla p + \mathbf{g} - 2\boldsymbol{\Omega} \times \rho \mathbf{v} - \nabla \mathbf{T}$

Druckgl.: $\frac{dp}{dt} = -\frac{c_p}{c_v} p \nabla \mathbf{v} + \left(\frac{c_p}{c_v} - 1 \right) (-\nabla H - \nabla R + L_v \cdot I^c)$

Erster HS.: $\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{dp}{dt} - \nabla H - \nabla R + L_v \cdot I^c$

Feuchtegl.: $\rho \frac{dq_v}{dt} = -\nabla F^v - I^c$

Fl.wassergl.: $\rho \frac{dq_c}{dt} = -\nabla F^c - \nabla P + I^c$

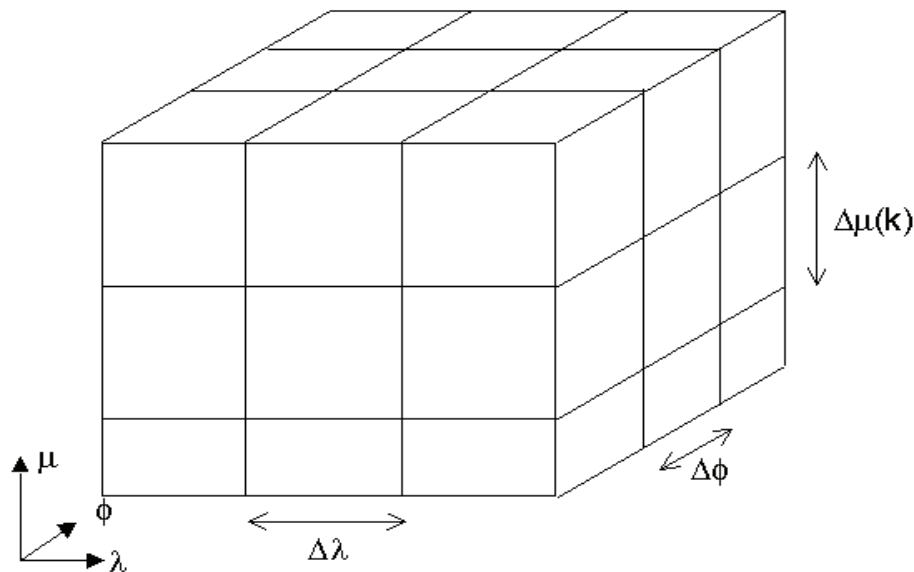
Zustandsgl.: $\rho = p \left\{ R_d \left[1 + \left(\frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q_v - q_i \right] T \right\}^{-1}$

Anfangs- und Randbedingung:

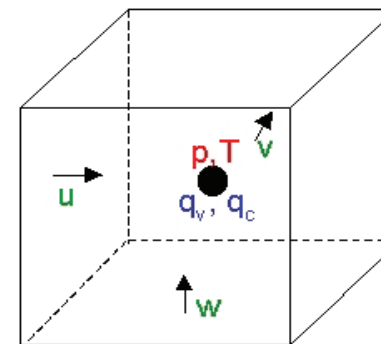
- +Analyse als Anfangszustand
- +Bodenmodul
- +obere Randbedingung
- +horizontale Randbedingung



Räumliche Diskretisierung



Arakawa-C-Gitter

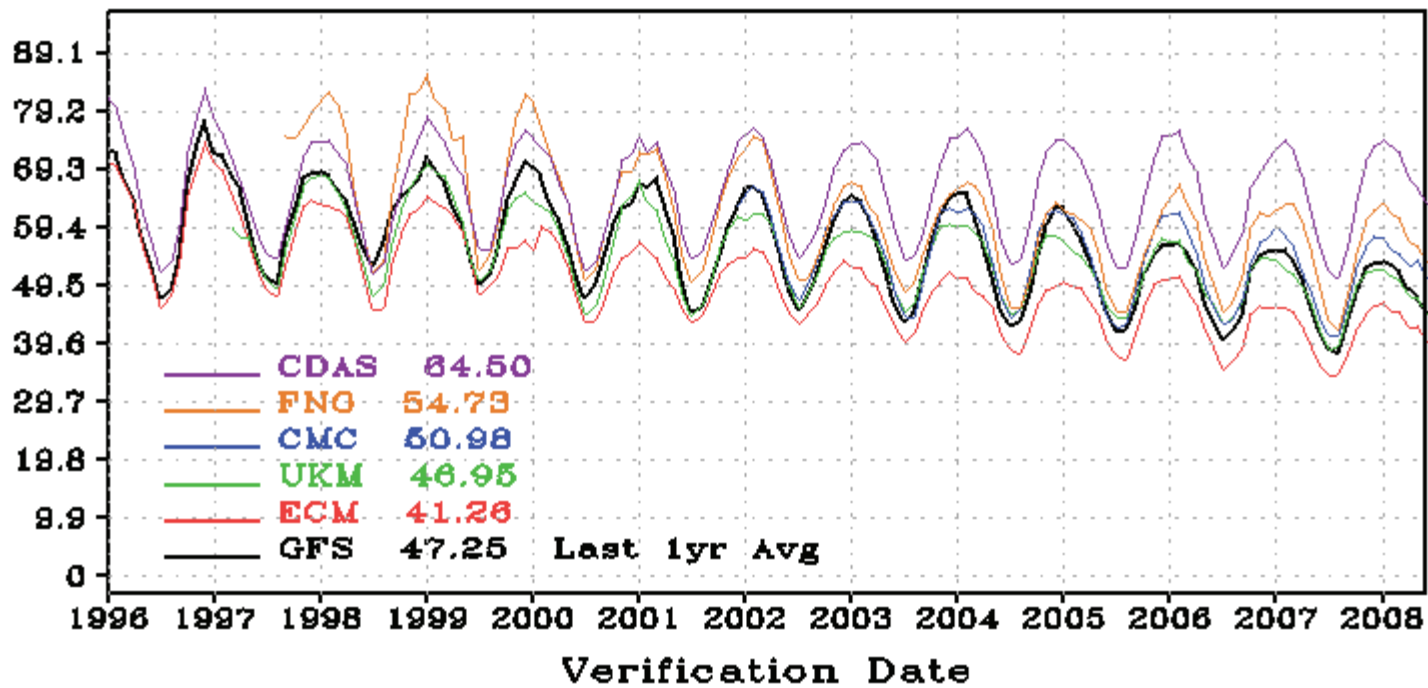


- operationelle Auflösung: 7.8 x 7.8 km, 35 Level
- operationell 325 x 325 x 35 Gitterpunkte (= 3.7 Mio. Punkte)

- staggered grid: Windkomponenten auf Normalenfläche, Rest in Zellmitten
- bessere Berechnung der Divergenz und des Druckgradienten



NH HGT RMSE: 500hPa Day5, 3-Mon Mean





EuroWind

WINDSTROMPROGNOSE

WINDINDEX

WINDSTATISTIKEN

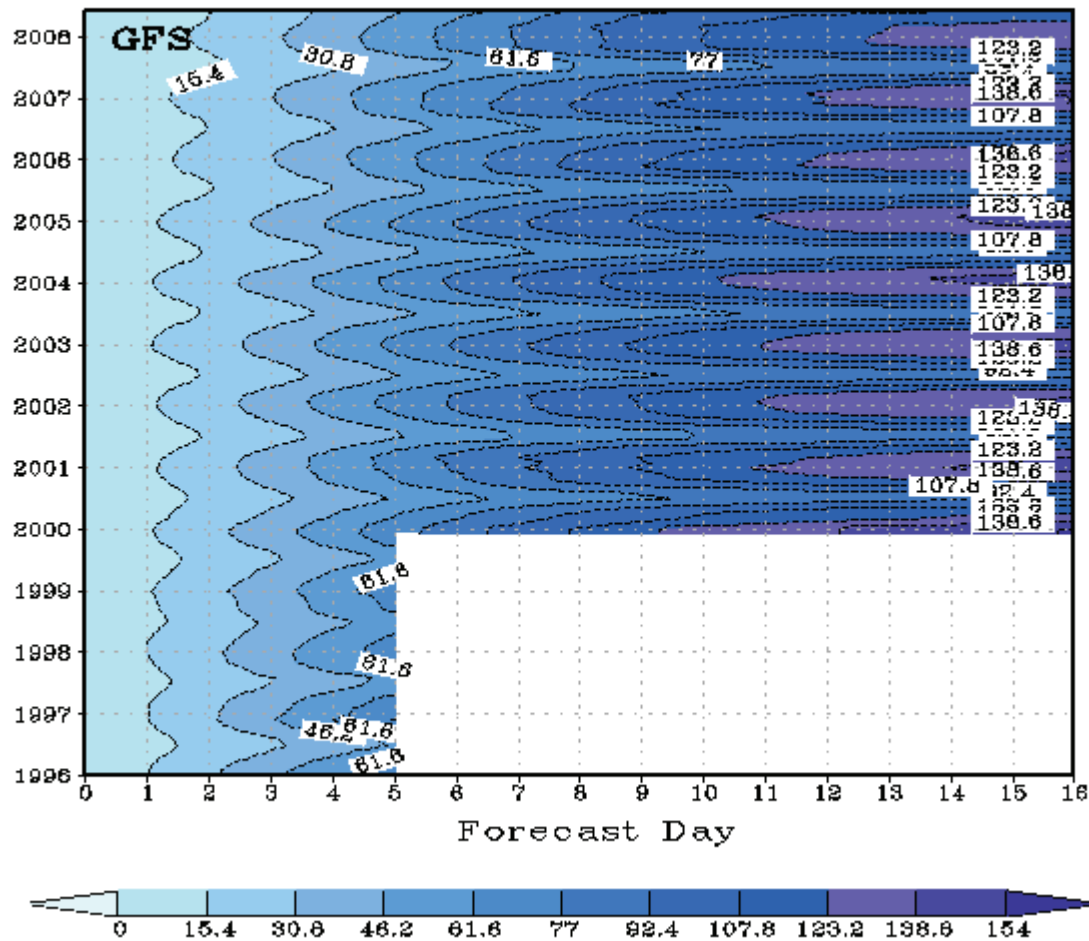
ERTRAGSGUTACHTEN

WETTERBERATUNG

REGIONALKARTEN

DIGITALE GELÄNDEMDELLE

NH 500hPa HGT RMSE, 3-Mon Mean





EuroWind

WINDSTROMPROGNOSE

WINDINDEX

WINDSTATISTIKEN

ERTRAGSGUTACHTEN

WETTERBERATUNG

REGIONALKARTEN

DIGITALE GELÄNDEMDELLE

(2) Antrieb und Initialisierung von mesoskaligen Modelle

- Dynamisches Downscaling (Modellnesting)
- Regionaler Antrieb (geostrophischer Wind, Bodenwind)
- Parameterisierung des vertikalen Windprofils



EuroWind

WINDSTROMPROGNOSE

WINDINDEX

WINDSTATISTIKEN

ERTRAGSGUTACHTEN

WETTERBERATUNG

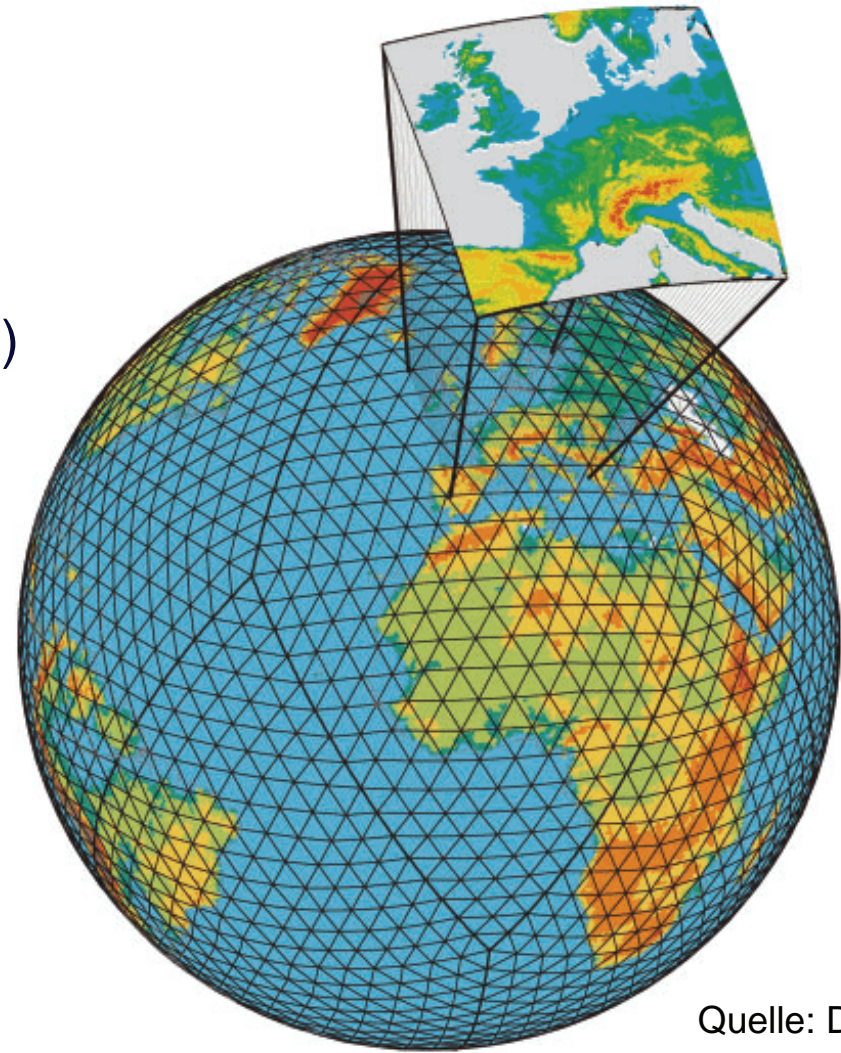
REGIONALKARTEN

DIGITALE GELÄNDEMDELLE

Modellnesting

Modellkette:

ECMWF (40 km) → HIRLAM (10 km)



Quelle: DWD



Regionales Downscaling

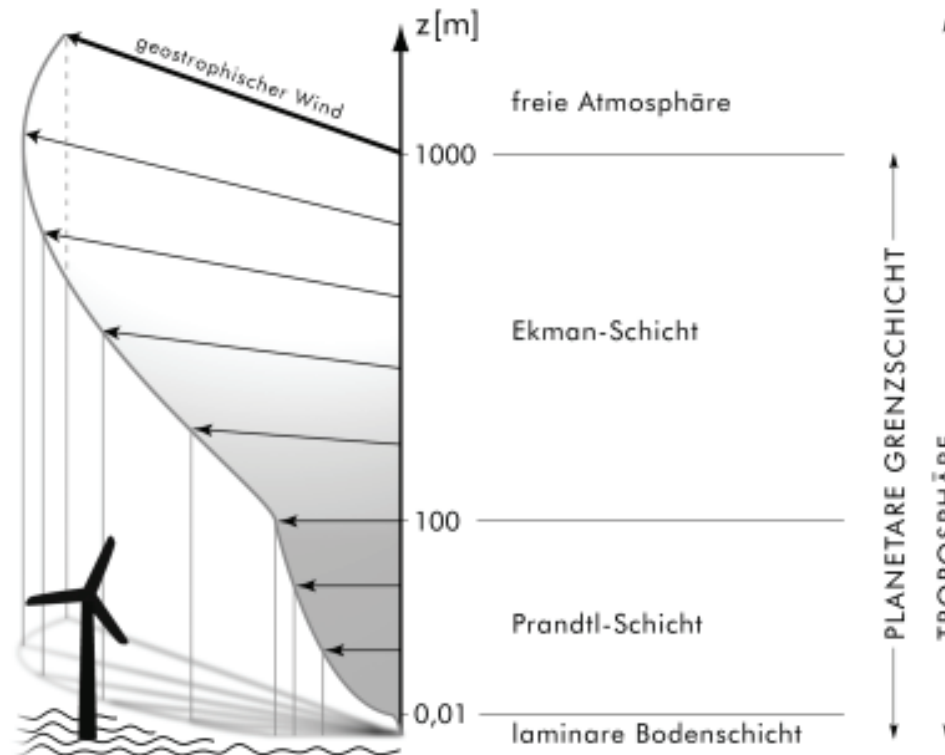
- **Global Scale**
~ 100 km
ECMWF
- **European Scale**
~ 10 km
HIRLAM
- **Regional Scale**
~ 1 km
FOOT3DK
- **Local Scale**
~ 100 m
WIEN





(3) Vertikales Windprofil

Struktur der Atmosphärischen Grenzschicht (PBL)





Linear-logarithmischer Prandtl-Ansatz bei stabiler Schichtung

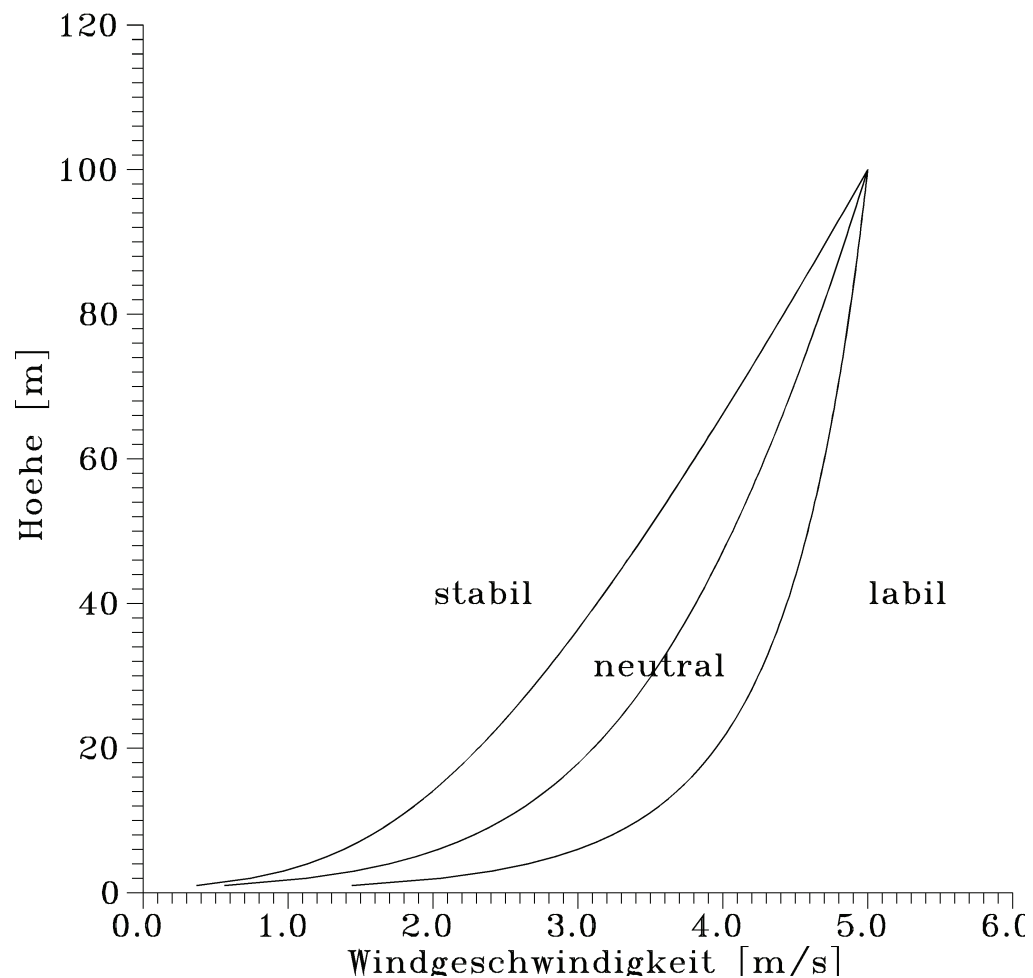
über den Ansatz der Monin-Obukhov-Ähnlichkeitstheorie – Randerson (1984)

$$|\vec{v}|(z) = \frac{u_*}{\kappa} \left[\ln \frac{z}{z_0} + \Psi(z, L_*) - \Psi(z_0, L_*) \right]$$

$$\Psi(z, L_*) = \begin{cases} 1 + 5 \frac{z}{L_*} & \text{für } \frac{z}{L_*} < 0.5 \\ 8 - 4.25 \cdot \left(\frac{z}{L_*}\right)^{-1} + \left(\frac{z}{L_*}\right)^{-2} & \text{für } 0.5 < \frac{z}{L_*} < 10 \\ 0.76 \cdot \left(\frac{z}{L_*}\right) & \text{für } \frac{z}{L_*} \geq 10 \end{cases}$$



Windprofile innerhalb der Prandtl-Schicht bei unterschiedlicher atmosphärischer Schichtungsstabilität



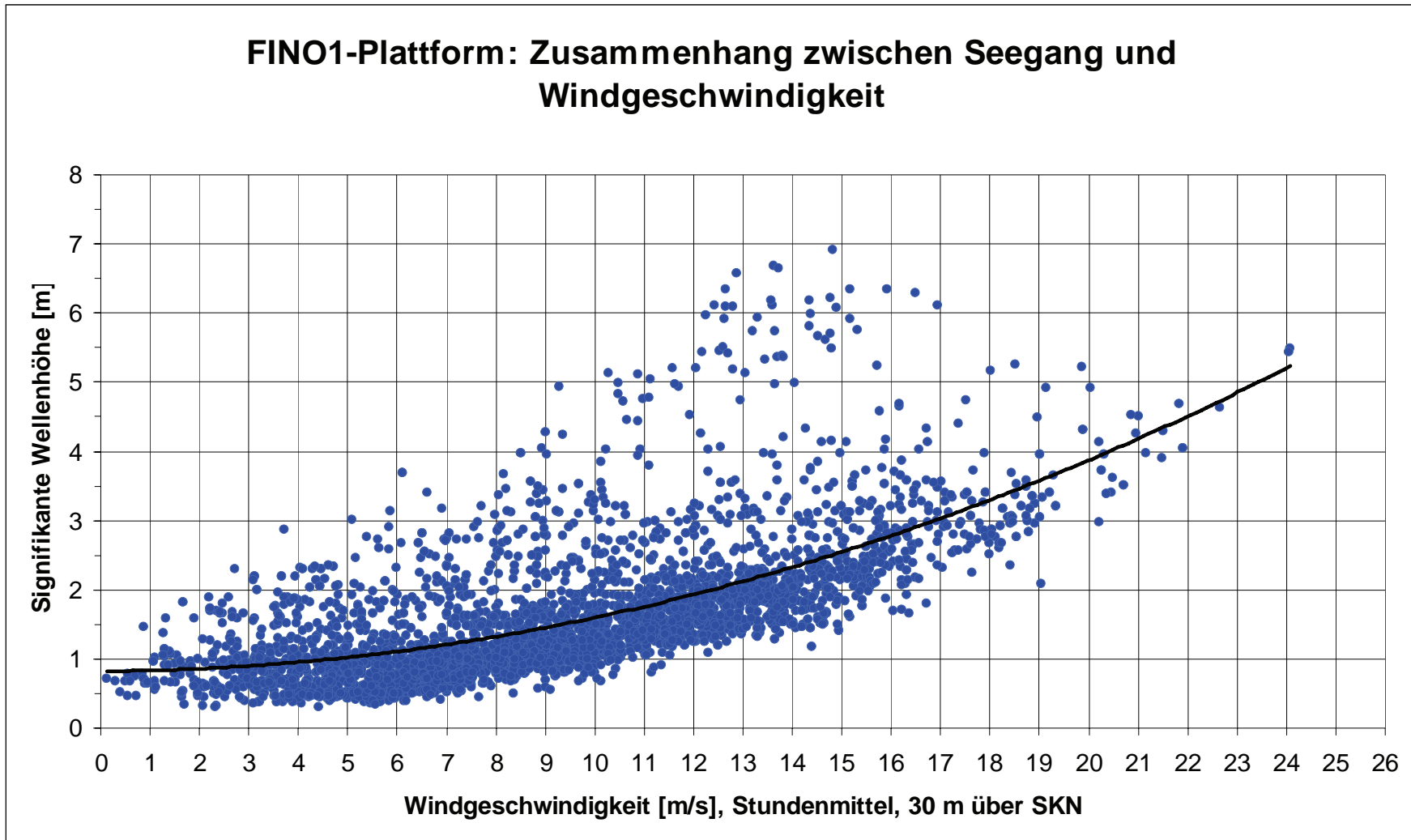


Offshore

- Niedrige Prandtl-Schicht
- Veränderte thermische Schichtungsstabilität
- Rauigkeitslänge abhängig von der Windgeschwindigkeit

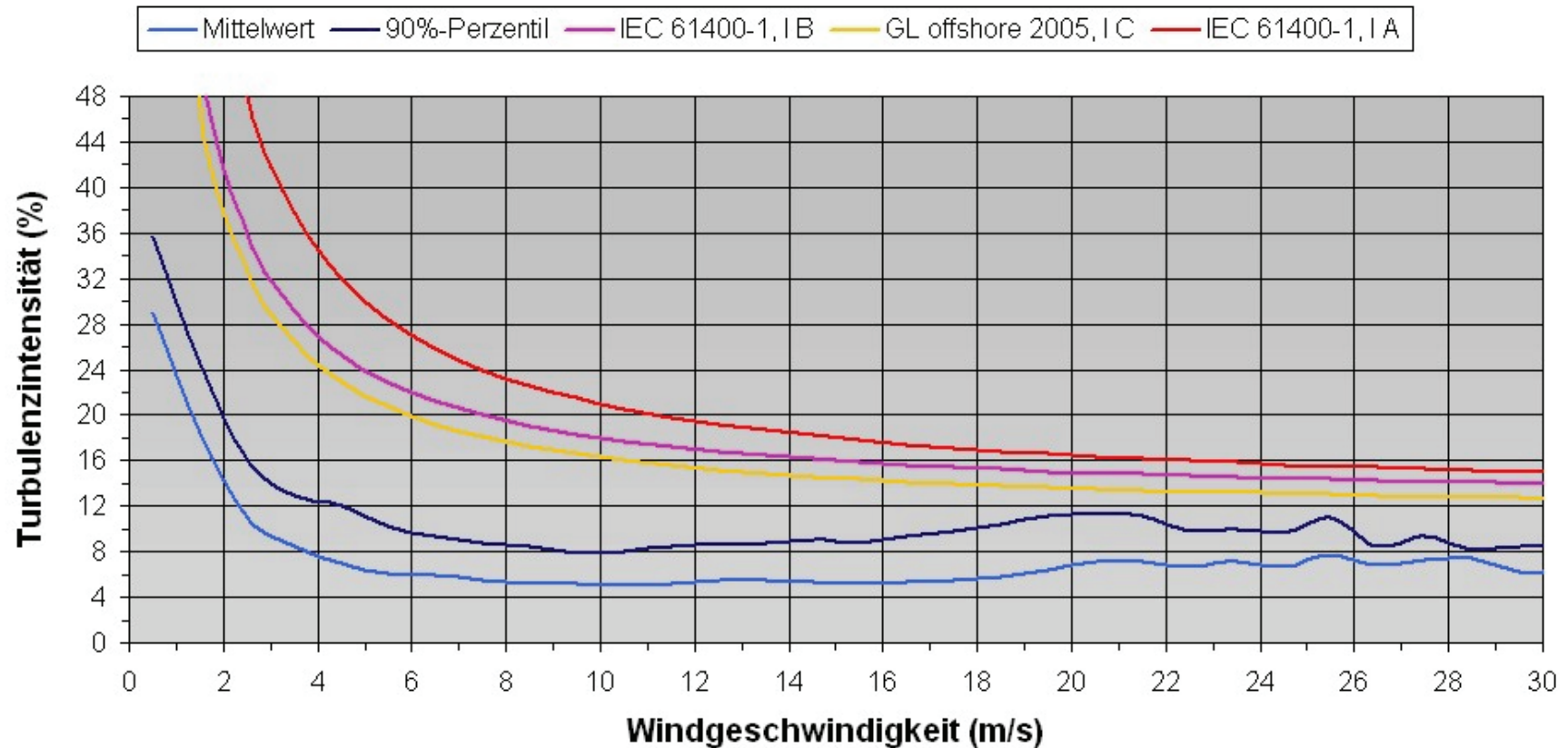


FINO1-Plattform: Zusammenhang zwischen Seegang und Windgeschwindigkeit





Vergleich zwischen offshore Umgebungsturbulenz und Turbulenzklassen gemäß onshore und offshore Richtlinien





(5) Turbulenzcharakteristik

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{e}}{\partial t} + U_j \frac{\partial \bar{e}}{\partial x_j} &= \delta_{i,3} \frac{g(u_i \Theta'_v)}{\Theta_v} - u'_i u'_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial (u'_j \bar{e})}{\partial x_j} - \left(\frac{1}{\bar{\rho}} \right) \frac{\partial (u'_i p')}{\partial x_i} - \varepsilon \\ (1) \quad (2) \quad (3) \quad (4) \quad (5) \quad (6) \quad (7) \end{aligned}$$

- (1) Lokalzeitliche TKE-Tendenz
- (2) Advektion
- (3) Produktion / Vernichtung bei Hebung (thermische Erzeugung)
- (4) Scherungs-Produktion (dynamische Erzeugung)
- (5) Turbulenter Transport
- (6) Druckkorrelation
- (7) Dissipation (Umwandlung in Wärme)



(6) Herausforderungen der 3D-Modellierung

- Stabilitätsabhängiges vertikales Windprofil
- Winddrehung innerhalb der Ekman-Schicht
- Seegangabhängige Rauigkeitsparameterisierung
- Porositätsansatz bei Waldstandorten
- Analyse der standortspezifischen Turbulenzcharakteristik
- Verifizierung der vertikalen Grenzschichtstruktur in unterschiedlichen Klimaregionen