

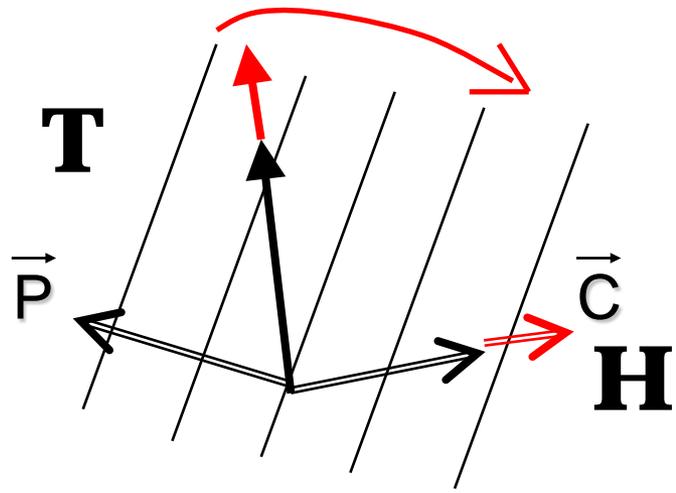
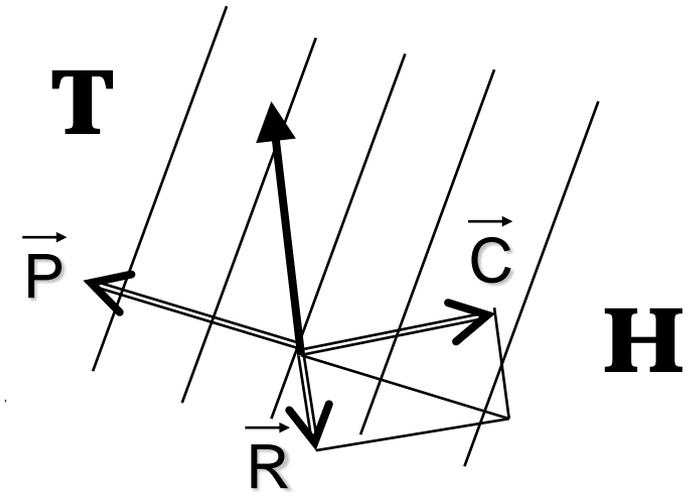
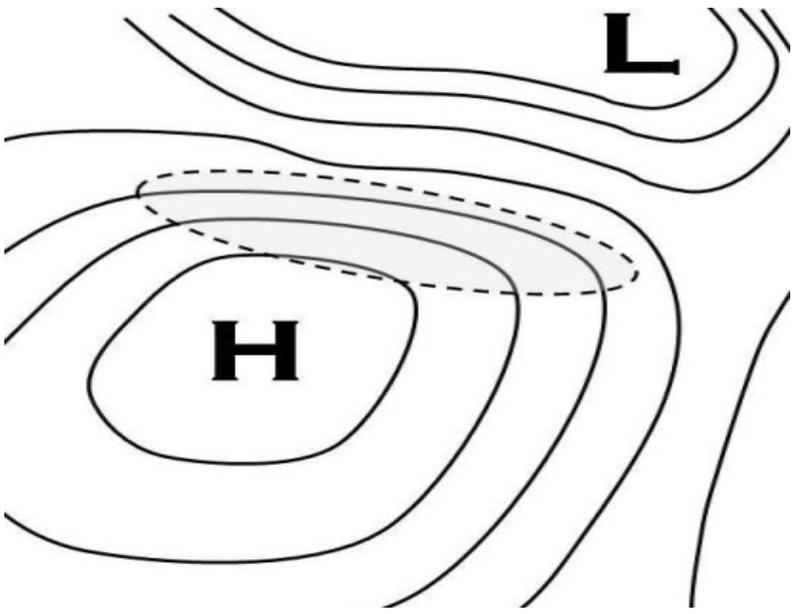
Was bestimmt den nächtlichen vertikalen Windgradienten?

Stefan Emeis
stefan.emeis@kit.edu

INSTITUTE OF METEOROLOGY AND CLIMATE RESEARCH, Atmospheric Environmental Research



- 1 Grundüberlegung: Low-level jets**
- 2 Daten**
- 3 SNBL: Monin-Obukhov-Länge gegen Gradient-Richardson-Zahl**
- 4 Ausblick**



$$\frac{\partial}{\partial t} (u - u_g) = f(v - v_g) \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (v - v_g) = -f(u - u_g)$$

in which u, v, u_g, v_g are components of the wind and geostrophic wind and f the coriolis parameter. The solution and geometric interpretation of these equations are facilitated by introducing the complex number

$$W = (u - u_g) + i(v - v_g) \quad (6)$$

which, when plotted in the complex plane, gives a vector representing the deviation from the geostrophic wind. The equations (5) then become

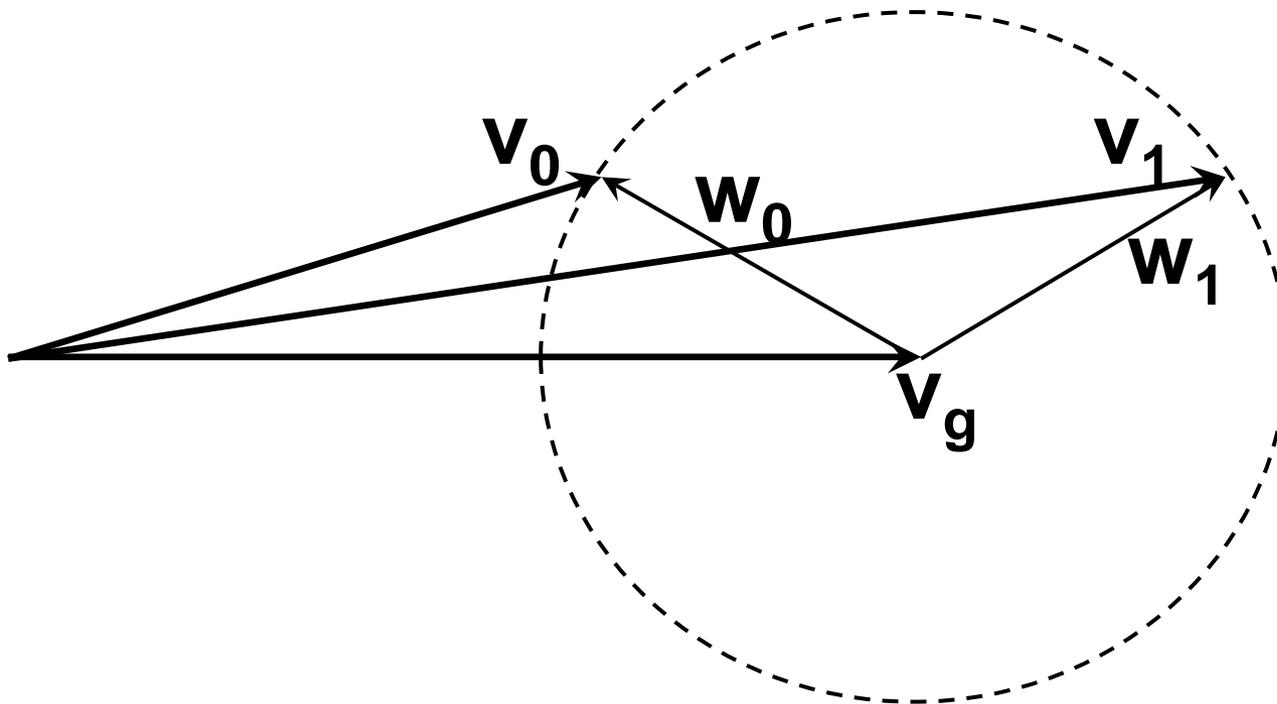
$$\frac{\partial W}{\partial t} = -ifW \quad (7)$$

which may be integrated to give the solution

$$W = W_0 e^{-if t} \quad (8)$$

Blackadar 1957

Low-level jet als Trägheitsschwingung (Blackadar 1957)



$$\mathbf{W} = \mathbf{V}_g - \mathbf{V}$$

Low-level jet als Trägheitsschwingung (Blackadar 1957)

die Konsequenzen wären:

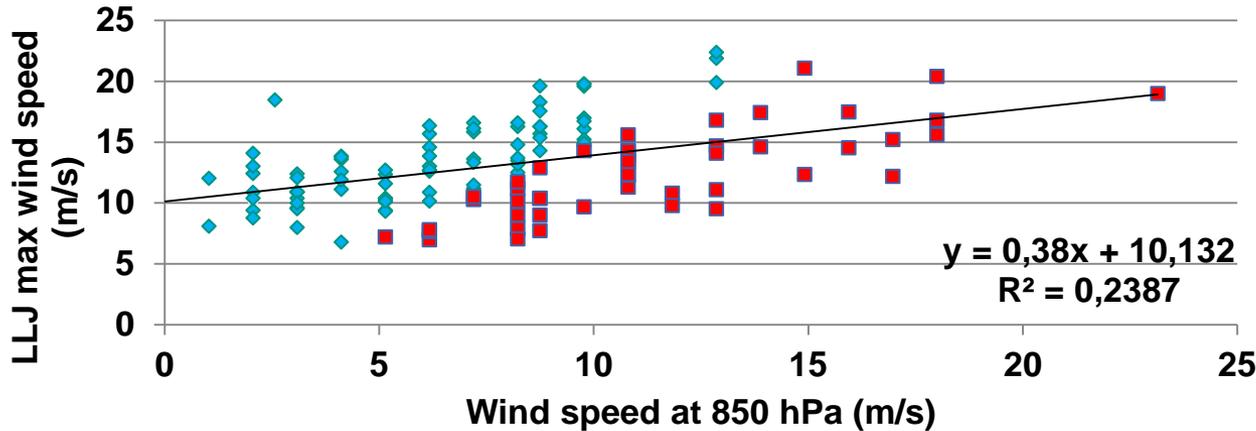
maximale Geschwindigkeit im LLJ = $2 v_g$

Winddrehung während der Nacht

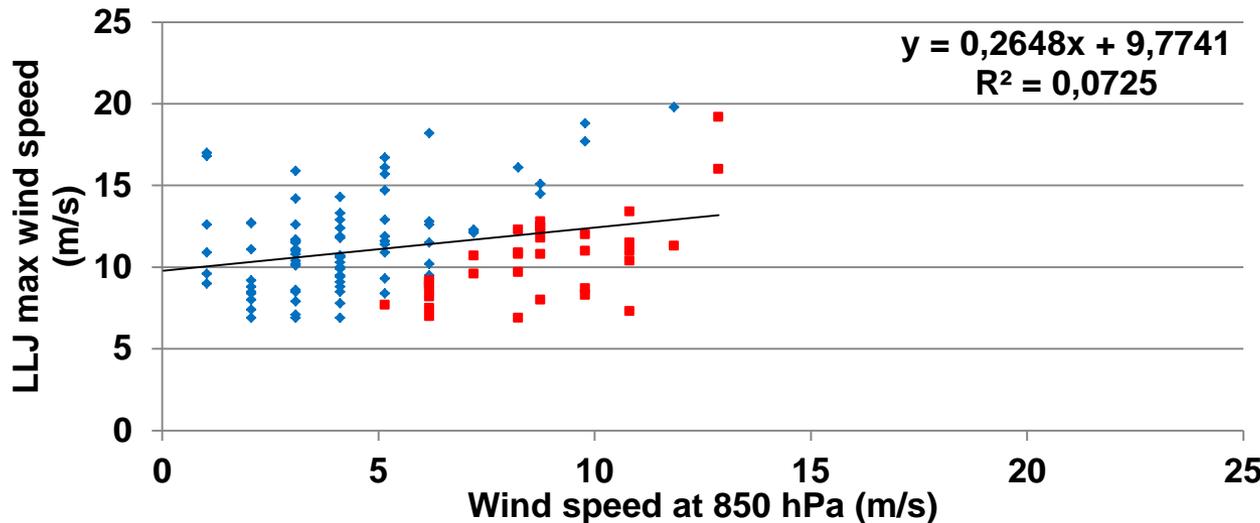
Was wird aber beobachtet?

SODAR (RASS)-Messungen in Hannover und Augsburg

**maximale Windgeschwindigkeit im LLJ und antreibender Druckgradient
(blaue Symbole: LLJ-Geschwindigkeit mehr als 1,5 mal der 850 hPa Wind)**



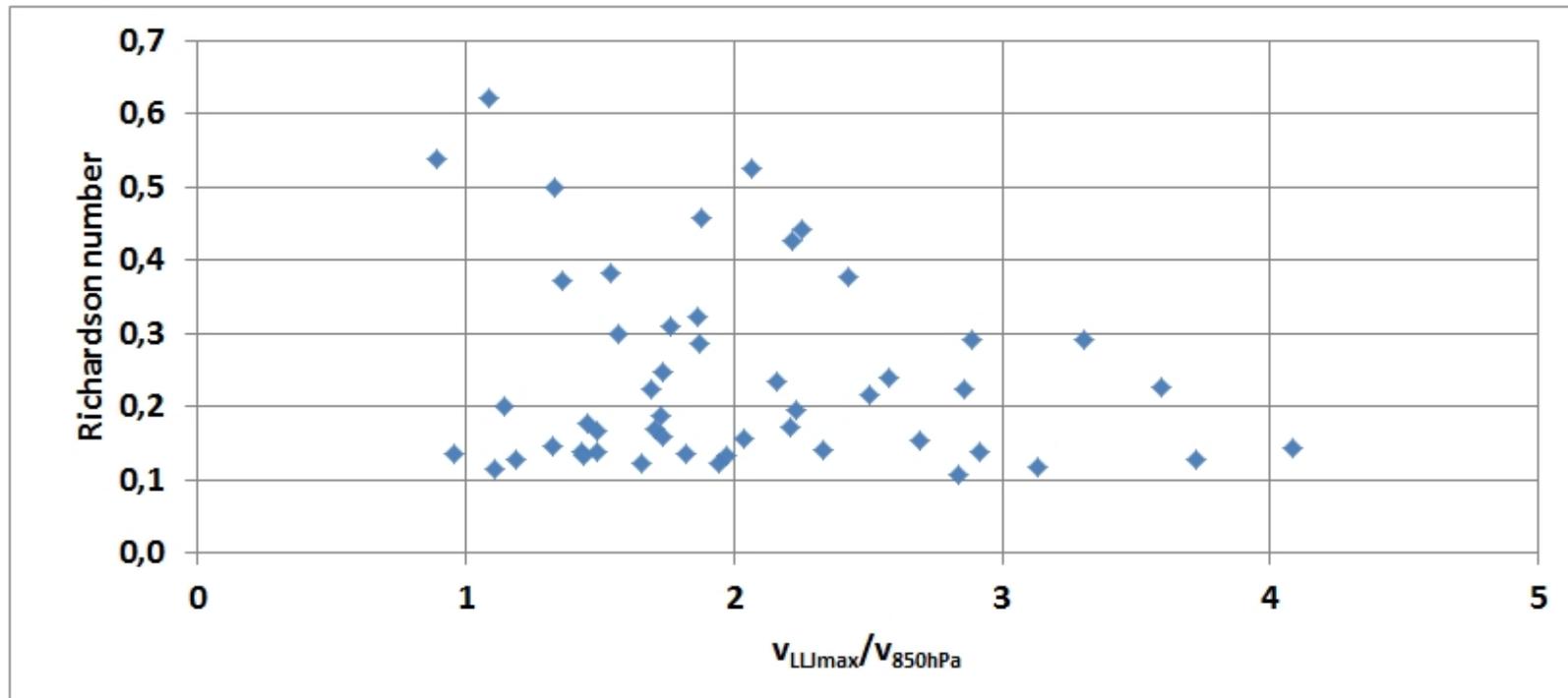
Hannover

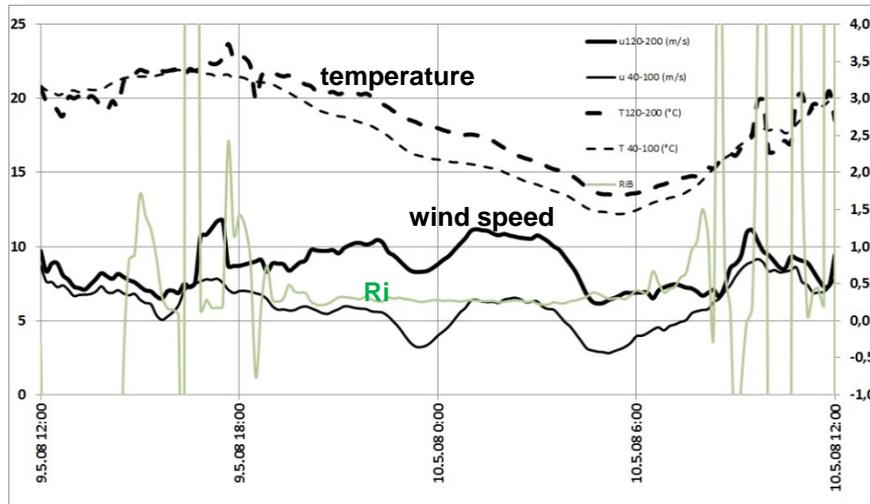


Augsburg

RASS-Beobachtungen Augsburg

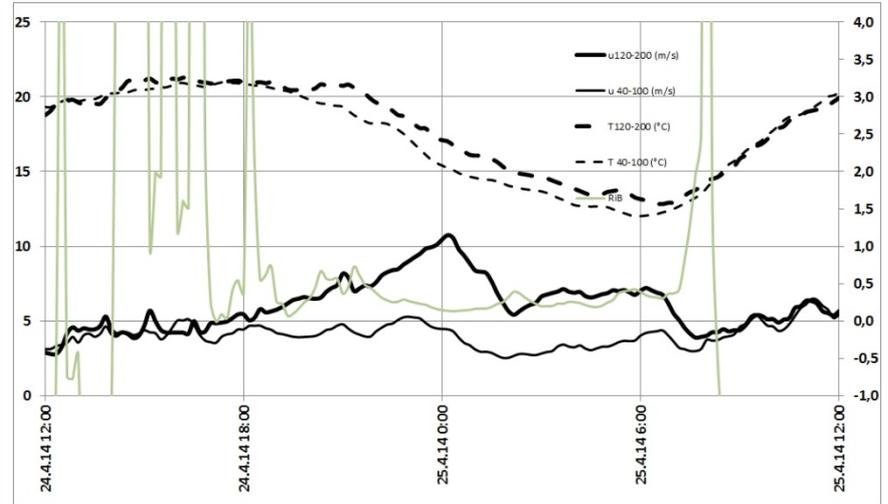
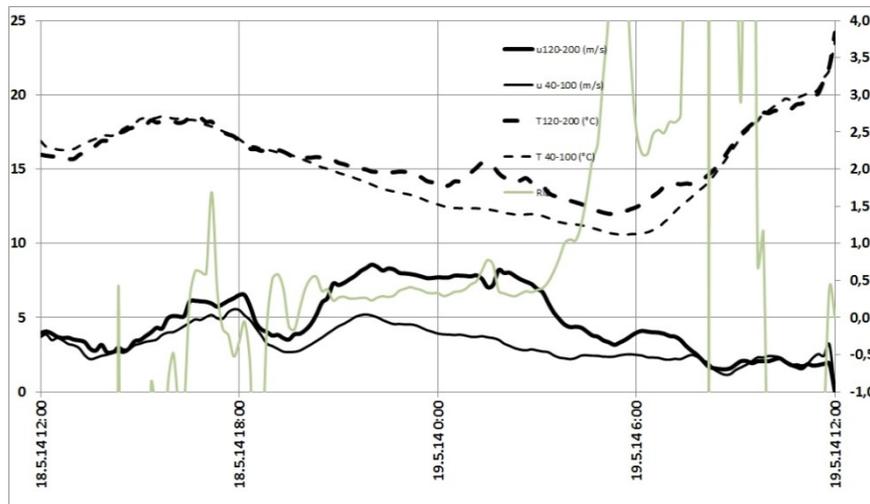
Gradient-Richardson-Zahl (40 bis 200 m) während LLJ-Ereignissen



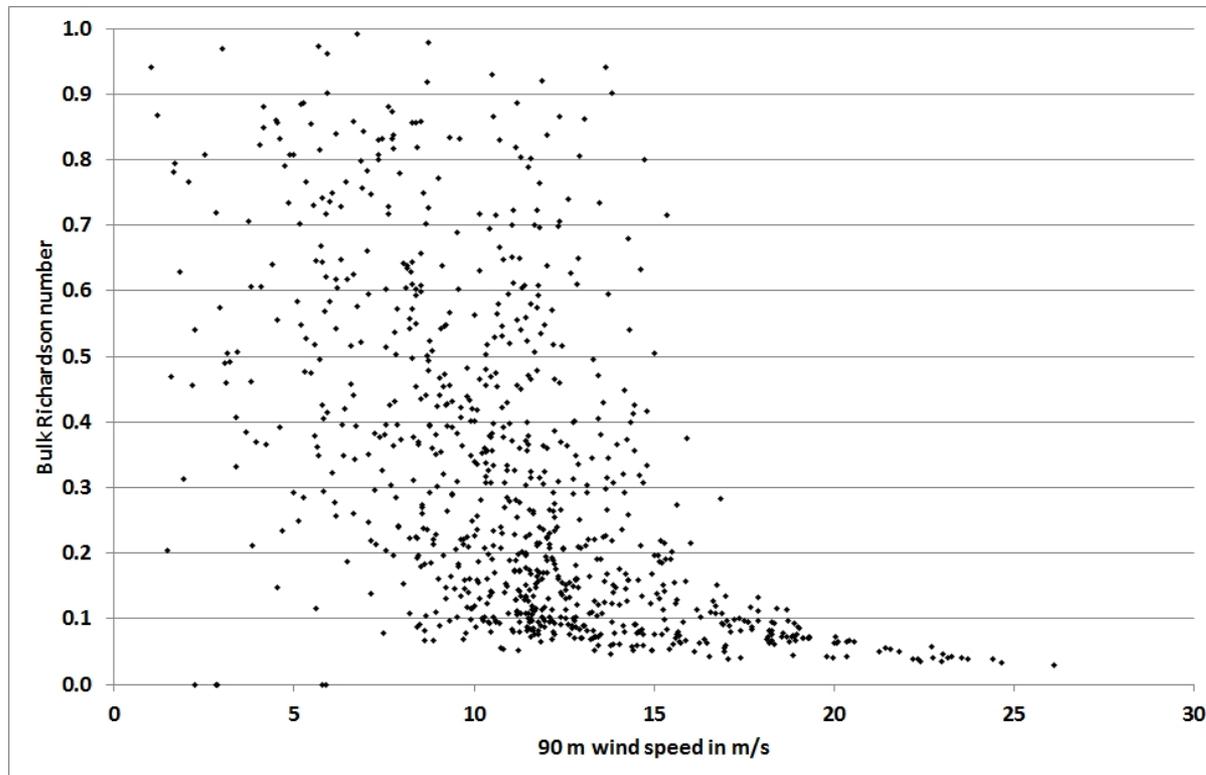


RASS-Beobachtungen Augsburg

**kritische Richardson-Zahl
zwischen 40 und 200 m über Grund
als begrenzender Parameter
für nächtliche LLJ-Geschwindigkeit**



weitere Beobachtungen: 90 m-Wind an FINO1 bei stabiler Schichtung als Funktion der Richardson-Zahl



Richardson-Zahl

$$Ri = \frac{g\partial\Theta/\partial z}{\Theta(\partial u/\partial z)^2}$$

$\Theta(z)$	Potentielle Temperatur
g	Schwerebeschleunigung
$u(z)$	Windgeschwindigkeit
z	vertikale Koordinate

Kritische Richardson-Zahlen

turbulent \rightarrow laminar: Turbulenz wird unterdrückt für Ri über Ri_{krit_1} (ca. 0,25)

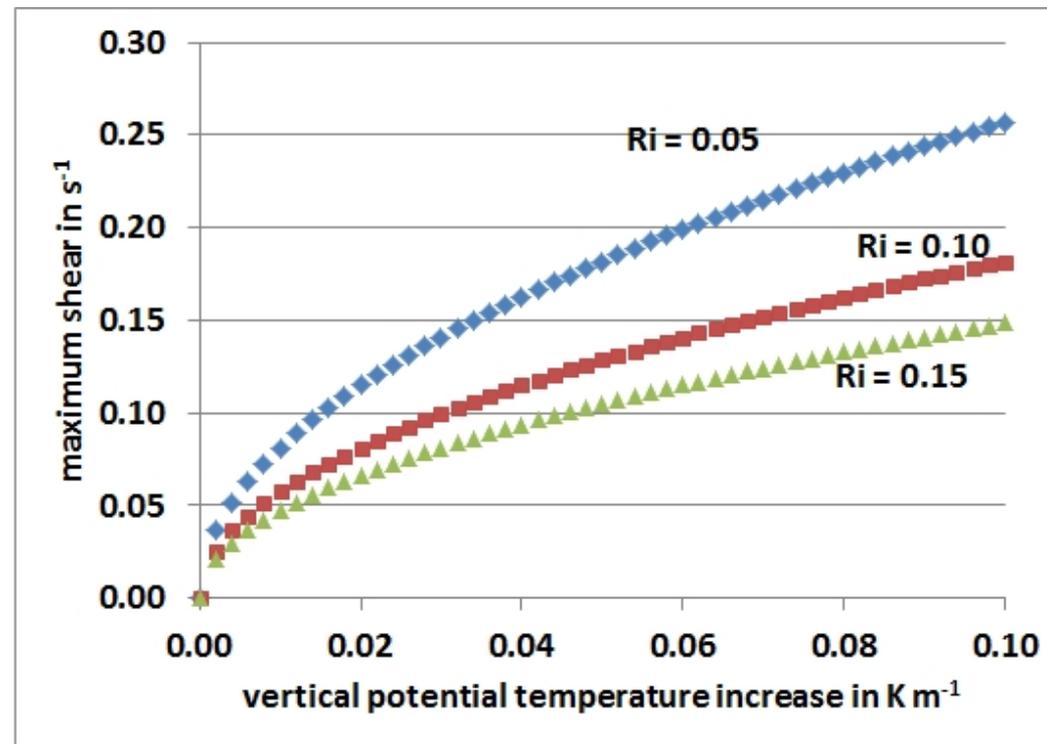
laminar \rightarrow turbulent: mechanische Turbulenz wird erzeugt, wenn Ri unter Ri_{krit_2}

über Land: $Ri_{\text{krit}_2} \sim 0,10$, über See: $Ri_{\text{krit}_2} \sim 0,05$

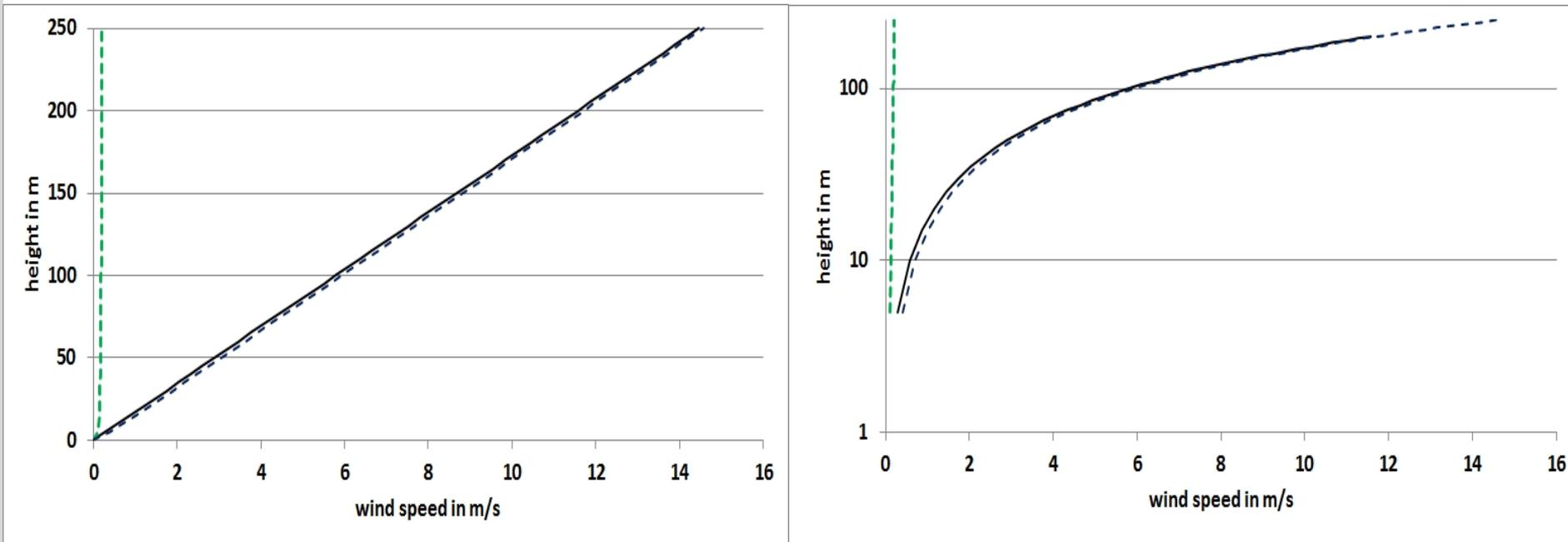
$Ri_{\text{krit}_2} < Ri_{\text{krit}_1}$ Hysterese

Berechnung der maximal möglichen Scherung aus der kritischen Richardson-Zahl (siehe auch Wittich et al. (1986)):

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \sqrt{\frac{g \partial \Theta / \partial z}{\Theta Ri_{krit_2}}}$$



Vergleich von Windprofilen aus kritischer Richardson-Zahl (durchgezogen) und logarithmischem Gesetz mit Stabilitätskorrektur (gestrichelt)

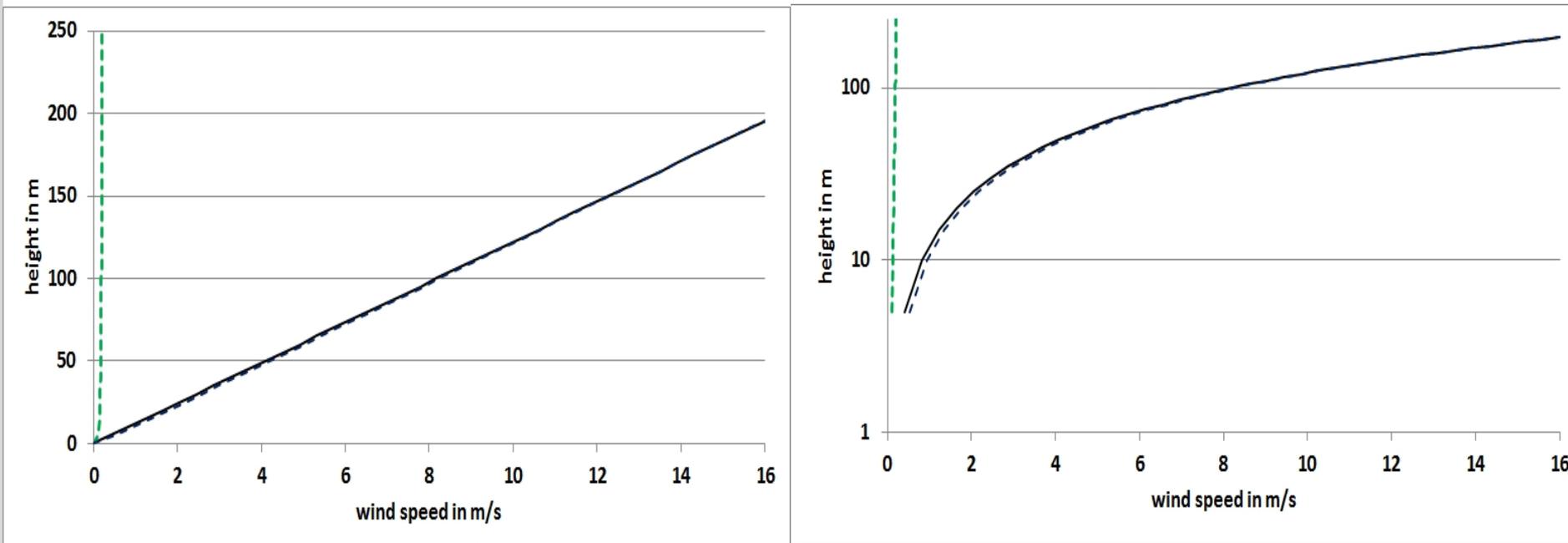


Rikrit₂ = 0,10 (über Land), $\partial\Theta/\partial z = 0.01$ K/m

$a = 5$, $L_* = 87$ m, $z_0 = 0,05$ m, $u_* = 0,01$ m/s;

$u(z) = u_*/k(\ln(z/z_0) + a z/L_*)$

Vergleich von Windprofilen aus kritischer Richardson-Zahl (durchgezogen) und logarithmisches Gesetz mit Stabilitätskorrektur (gestrichelt)



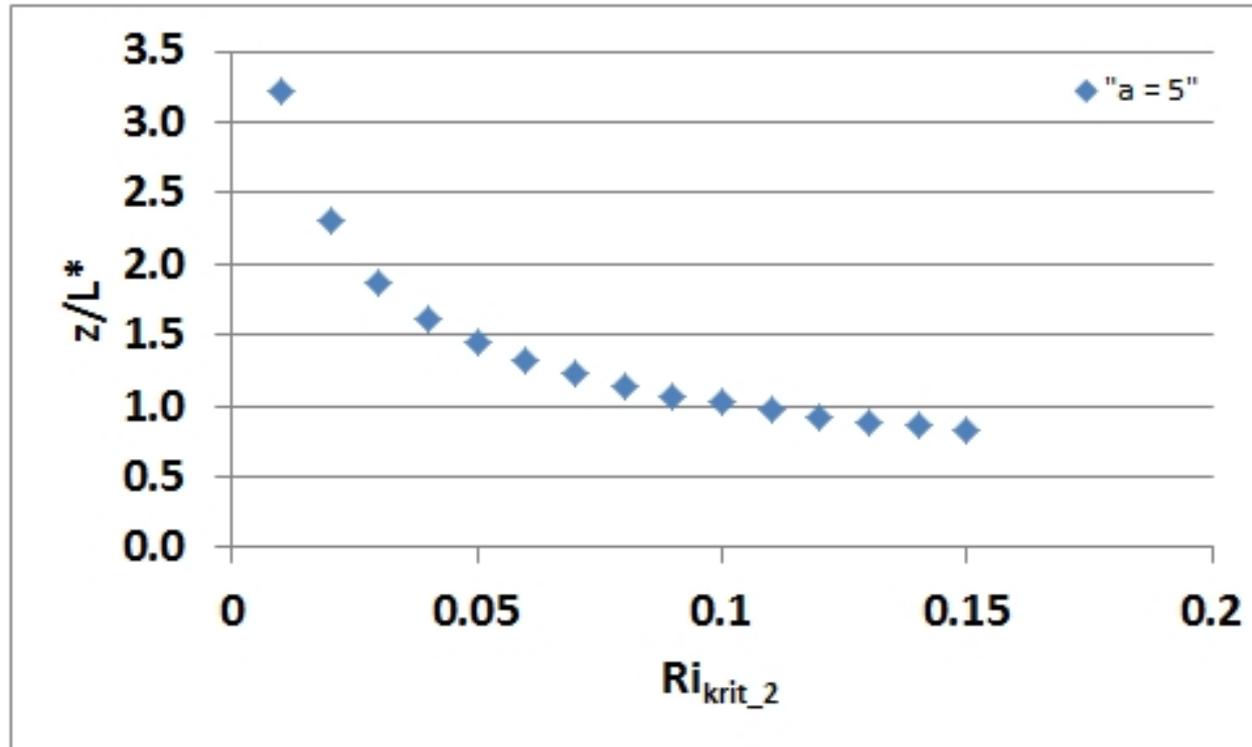
Rikrit_2 = 0,05 (offshore), $\partial\Theta/\partial z = 0.01$ K/m

$a = 5$, $L_* = 62$ m, $z_0 = 0,05$ m, $u_* = 0,01$ m/s oder

$a = 7$, $L_* = 87$ m, $z_0 = 0,05$ m, $u_* = 0,01$ m/s

$$u(z) = u_*/k(\ln(z/z_0) + a z/L_*)$$

Zusammenhang zwischen Ri_{krit_2} und z/L^* für $a = 5$ und $\partial\Theta/\partial z = 0.01$ K/m



Grundsätzliche Fragestellungen:

ist die Monin-Obukhov-Ähnlichkeitstheorie (MOST) überhaupt für die Beschreibung einer nächtlich stabilen Grenzschicht geeignet?

MOST basiert auf Mischungsweglänge und Turbulenz, aber nachts kaum Turbulenz. Richardson-Zahl basierte Theorie könnte besser sein.

ist die Beschreibung von Low-level Jets als Trägheitsschwingung überhaupt gerechtfertigt?

Daten zeigen eher eine Strömung im Gleichgewicht. Es wird die maximale Windscherung erreicht, bei der noch keine signifikante mechanische Turbulenzerzeugung stattfindet.

Bei genügendem Antrieb erreicht der LLJ immer größere Höhen im Laufe der Nacht.

Geländetypische kritische Richardson-Zahl scheint wichtig zu sein.

**Thank you very
much for your
attention**

