

Nächtliche Windscherung und atmosphärische Gegenstrahlung

Stefan Emeis
stefan.emeis@kit.edu

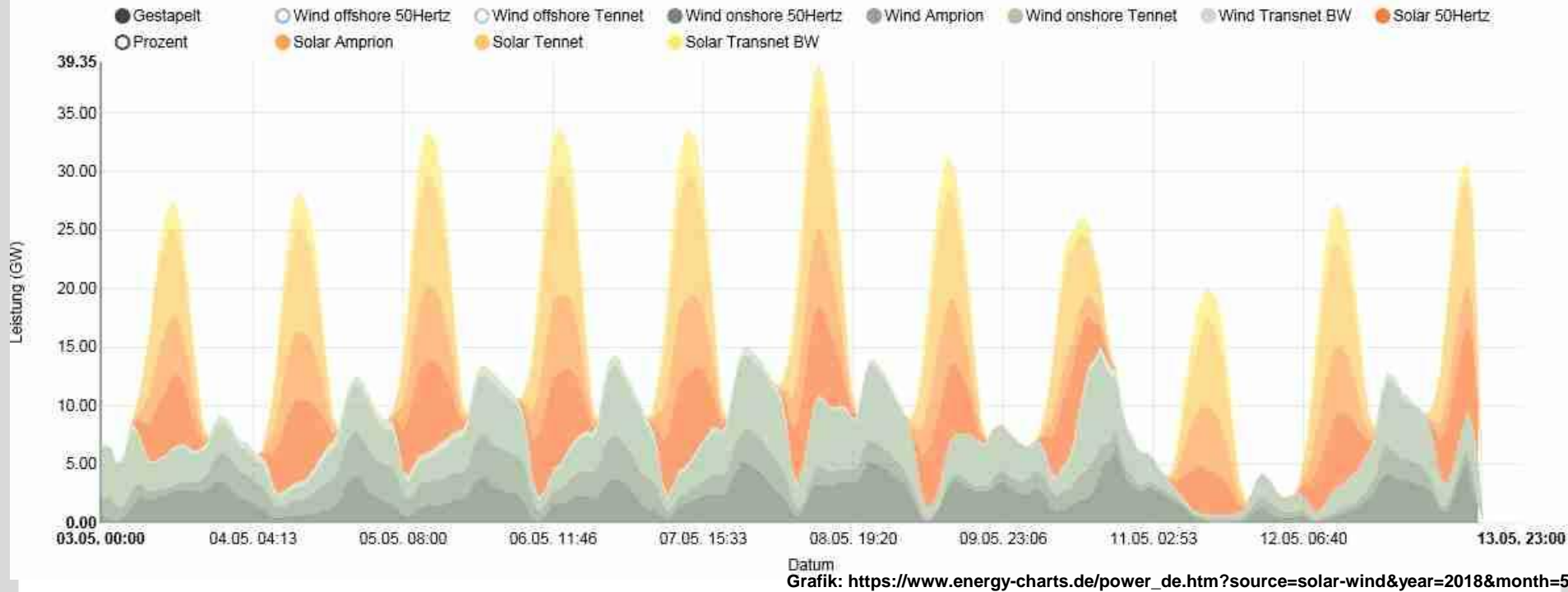
INSTITUTE OF METEOROLOGY AND CLIMATE RESEARCH, Atmospheric Environmental Research



Nächtliche Windscherung und atmosphärische Gegenstrahlung - hängen sie zusammen?

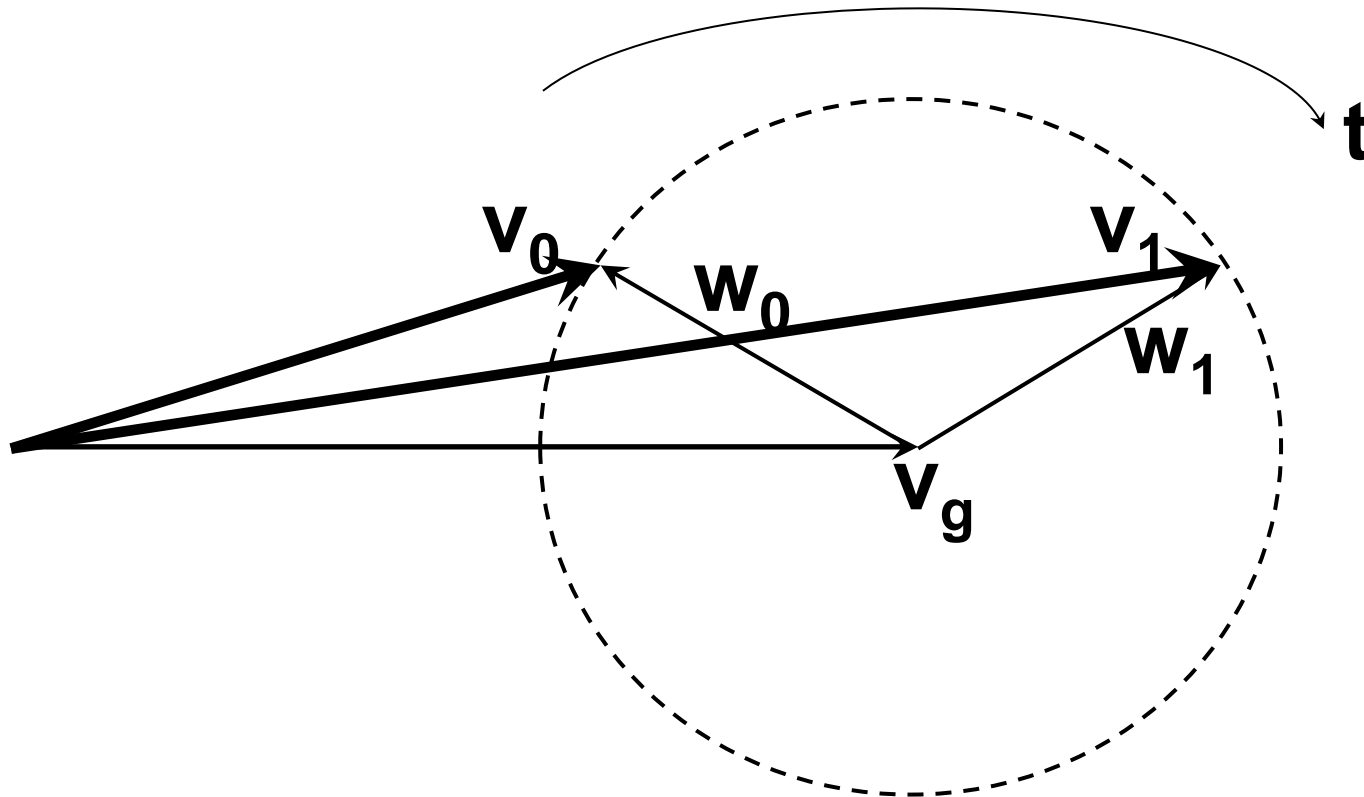
- 1 **Grundüberlegung: Low-level jets**
- 2 **mangelnde Korrelation mit dem geostrophischen Wind**
- 3 **nächtliche Abkühlung vs. atmosphärischer Gegenstrahlung**
- 4 **Ausblick**

nächtliche low-level jets im Mai 2018

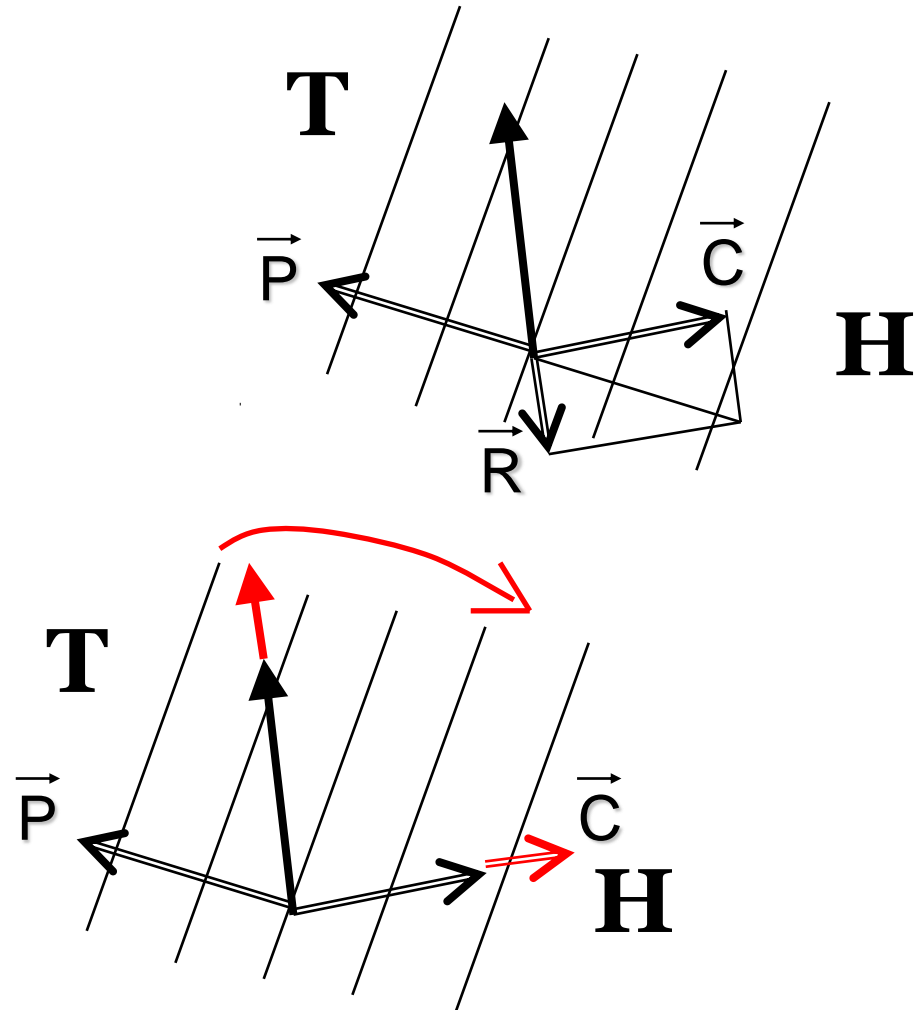
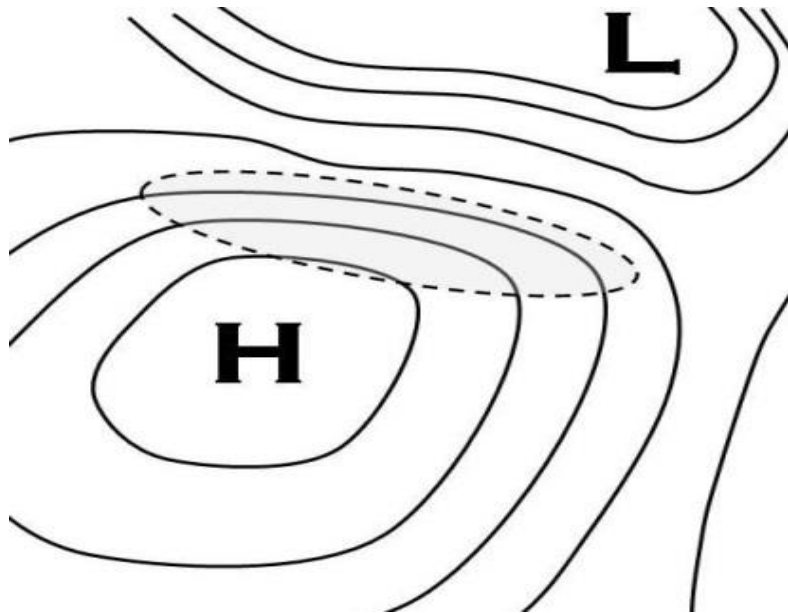


und ihr Einfluss auf die Stromerzeugung in Deutschland

Klassisches Modell: Low-level jet als Trägheitsschwingung (Blackadar 1957)



$$V_i = V_g + W_i$$



Low-level jet als Trägheitsschwingung (Blackadar 1957)

die Konsequenzen wären:

maximale Geschwindigkeit im LLJ = $2 v_g$

Winddrehung während der Nacht

gute Korrelation zwischen v_g und v_{\max}

Was wird aber beobachtet?

SODAR und RASS-Messungen in Hannover und Augsburg

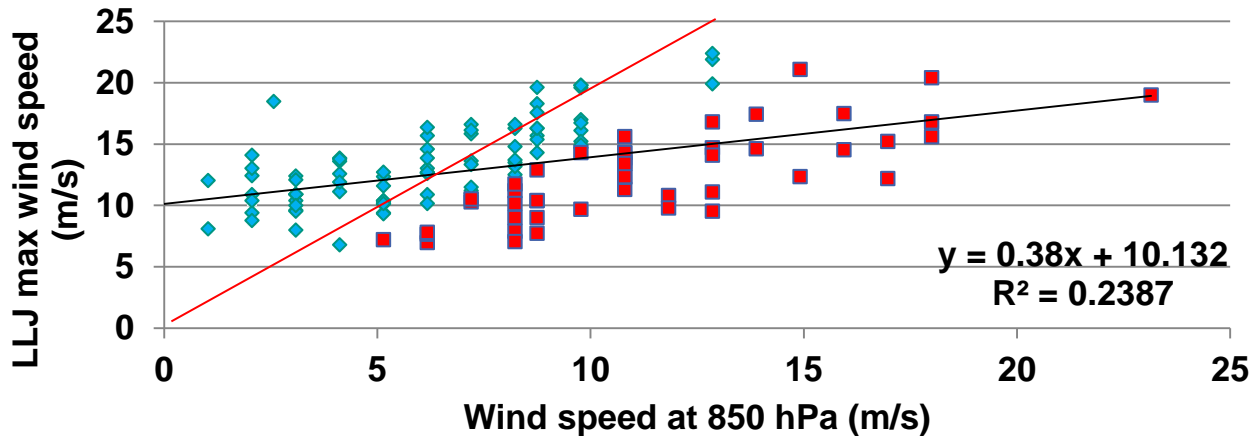


SODAR-RASS (Doppler-RASS)

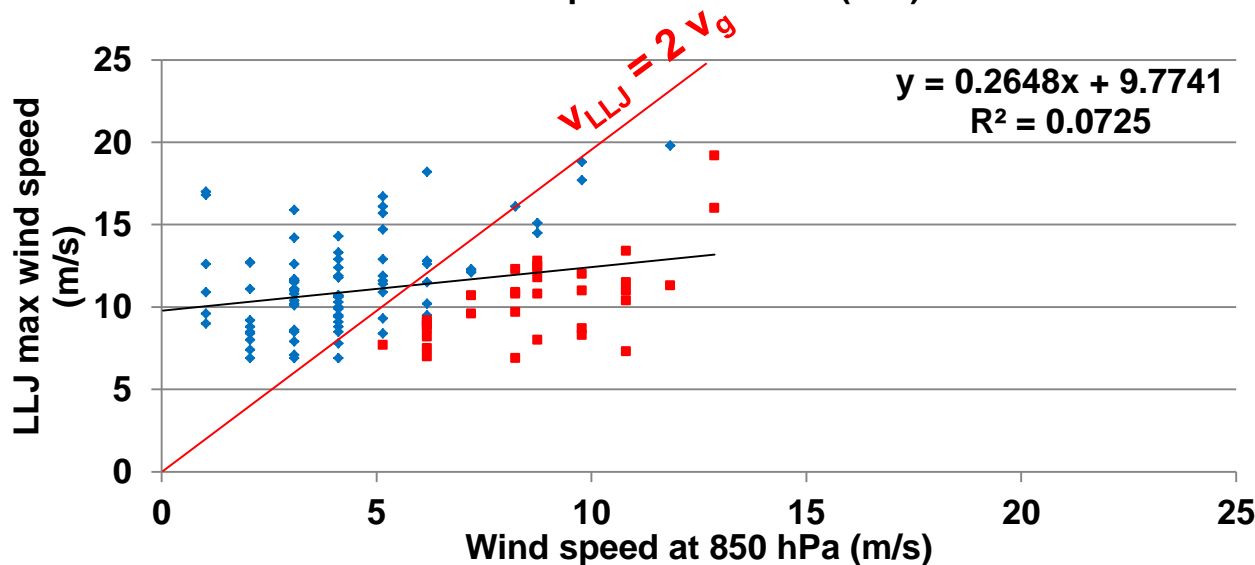
(METEK)

akustische Frequ.: 1077 Hz
Radiofrequ.: 474 MHz
Vertikalauflösung: 20 m
unterstes
Höhenintervall: ca. 40 m
vertikale Reichweite: 540 m

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



Hannover



Augsburg

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 → laminar:

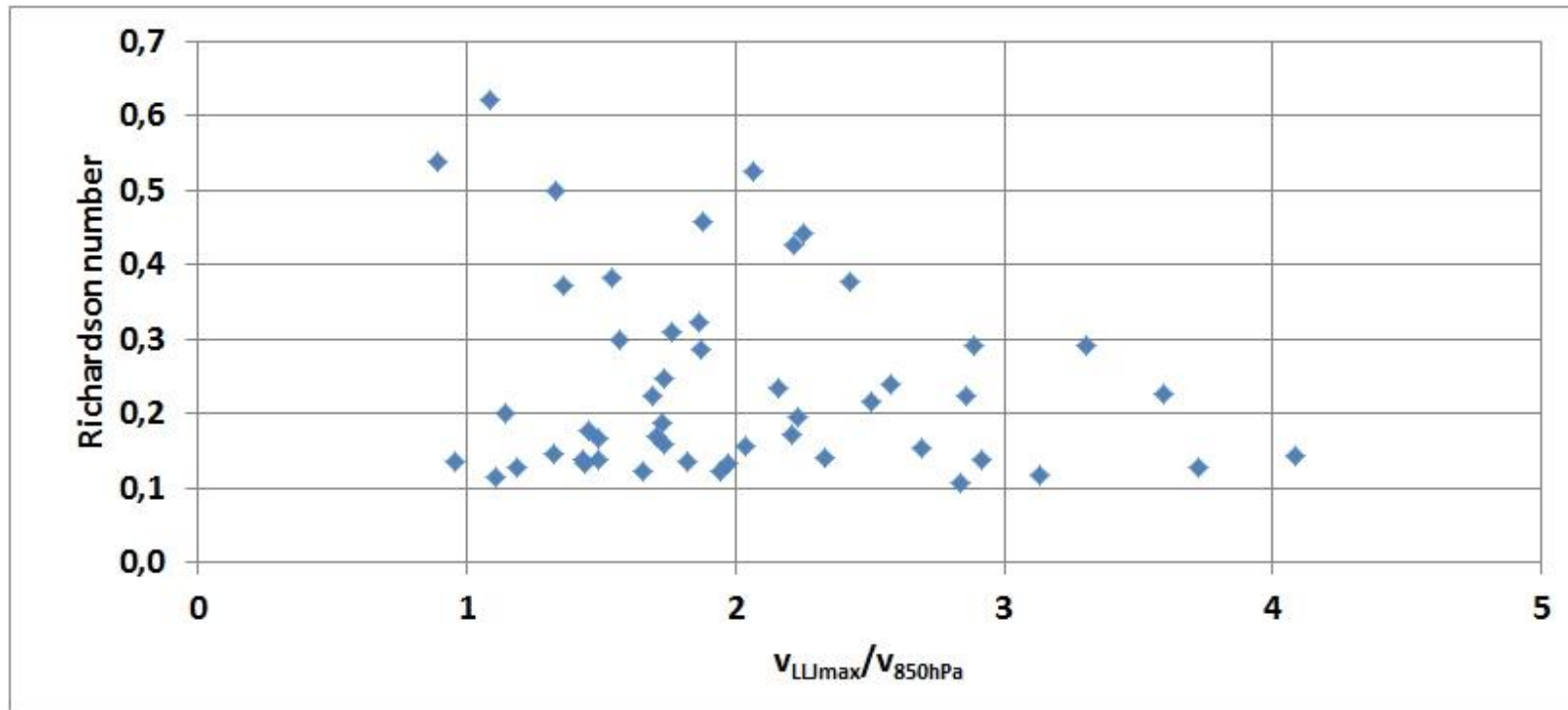
Turbulenz wird unterdrückt für Ri über Ri_{krit_1} (ca. 0,25)

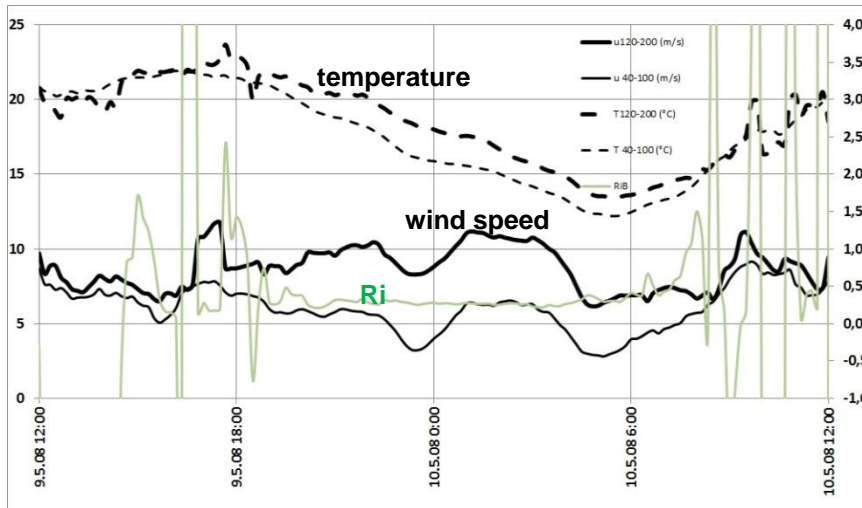
laminar → turbulent:

mechanische Turbulenz wird erzeugt, wenn Ri unter Ri_{krit_2}

RASS-Beobachtungen Augsburg

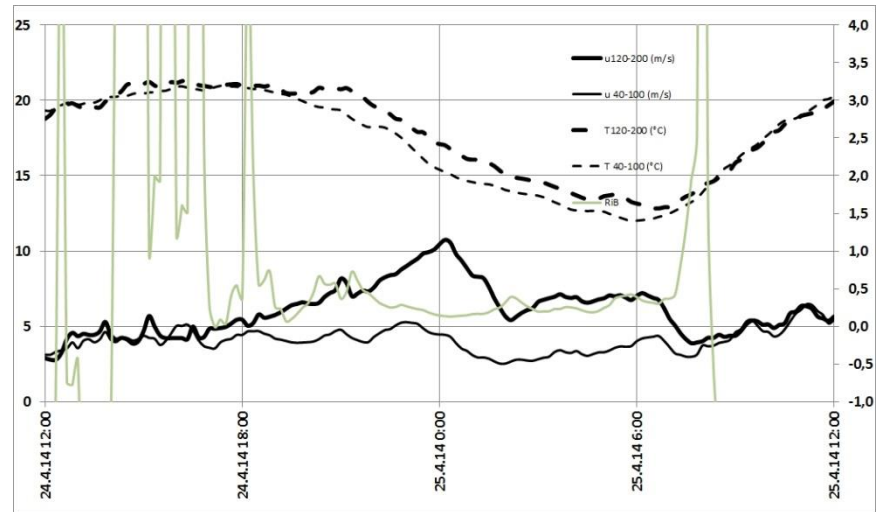
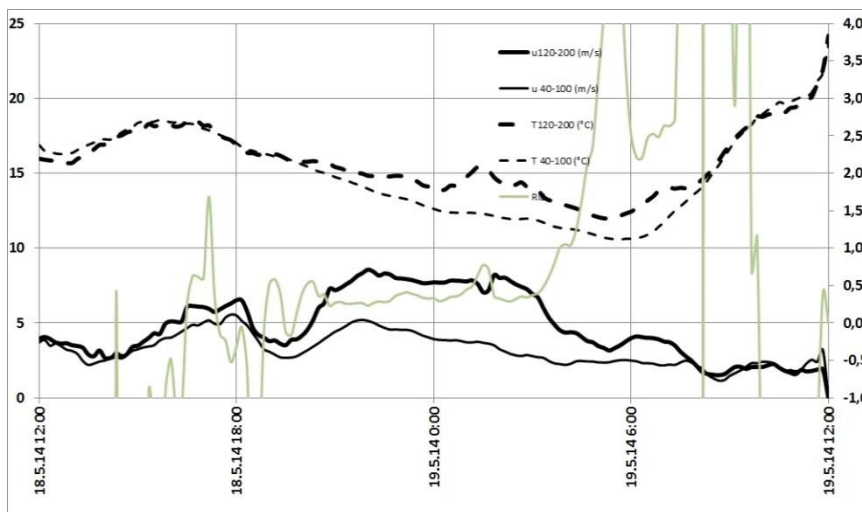
Gradient-Richardson-Zahl (40 bis 200 m) während LLJ-Ereignissen





RASS-Beobachtungen Augsburg

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



es scheint sich ein Ri-abhängiges neues Gleichgewicht einzustellen!

→ Low-level jet muss durch andere Parameter (mit) bestimmt werden

hierzu zählen vermutlich:

**die Rauigkeit der Oberfläche
(und die damit verbundene Turbulenzerzeugung)**

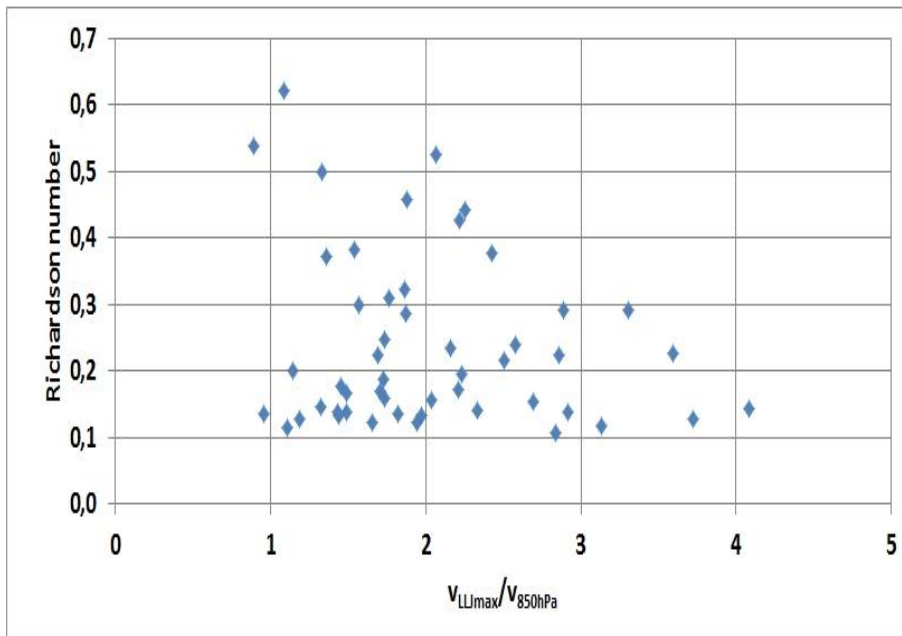
der turbulente, abwärts gerichtete Wärmefluss

**die thermische Trägheit der Oberfläche
(feuchte Böden kühlen langsamer aus als trockene Böden)**

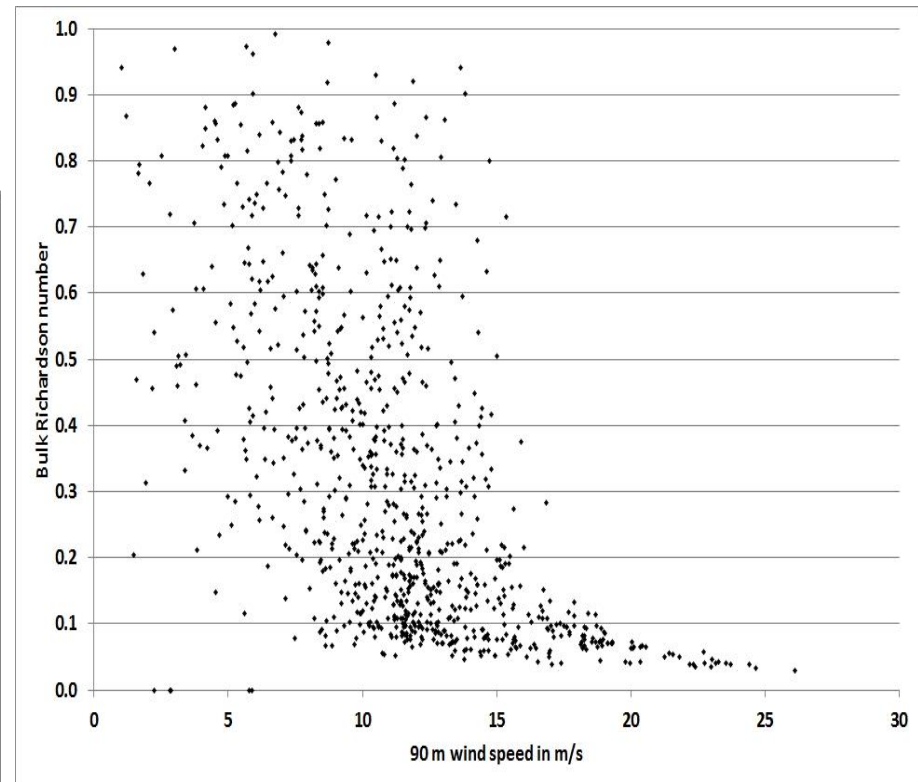
die atmosphärische Gegenstrahlung

Einfluss der Rauigkeit der Oberfläche (und die damit verbundene Turbulenzerzeugung)

über Land



über See



kleinere Ri_B : größere Scherung

**die thermische Trägheit der Oberfläche
(feuchte Böden kühlen langsamer aus als trockene Böden)**

die atmosphärische Gegenstrahlung

der turbulente, abwärts gerichtete Wärmefluss

hierfür müssen wir die thermische Strahlungsbilanz Q_1 des Bodens betrachten (nachts: keine kurzwelligen Strahlungsflüsse!):

$$Q_1 = G + SH + B + L$$

alle Flüsse zum Boden hin positiv

G langwellige atmosphärische Gegenstrahlung

SH turbulenter Wärmefluss

B Bodenwärmefluss

L langwellige Ausstrahlung des Bodens

grobe Näherungen für die **Gegenstrahlung**

$$G = G_0 (1+kN^2) = \underbrace{\varepsilon_a \sigma T_B^4 (1+kN^2)}_{\varepsilon_a} = (0,82 - 0,25 * 10^{-0,1e}) (1+kN^2) \sigma T_B^4$$

T_B Bodentemperatur in K

N Bedeckungsgrad in Zehntel

e atmosphärischer Dampfdruck in hPa **Warnecke (1997)**

ε_a Absorptions-/Emissionsvermögen der Atmosphäre

$$G = G_0 (1-c) + c \sigma T_a^4 = \underbrace{[(0,605 + 0,048 e^{0,5})(1-c) + c]}_{\varepsilon_a} \sigma T_a^4$$

T_a Lufttemperatur in K

c N/10

Choi et al. (2008)

Abkühlungsrate des Bodens (unter Vernachlässigung des **Bodenwärmeflusses**)

$$CR_0 = \varepsilon_b \sigma T_B^4 - \varepsilon_b G = \varepsilon_b (\sigma T_B^4 - \varepsilon_a \sigma T_a^4)$$

unter Benutzung der Himmelstemperatur $T_s = \varepsilon_a^{0,25} T_a$ folgt:

$$CR_0 = \varepsilon_b (\sigma T_B^4 - \sigma T_s^4)$$

Taylorentwicklung um $T_0 = 293$ K ergibt:

$$CR_0 = 4\varepsilon_b \sigma T_0^3 (T_B - T_s)$$

dieser Abkühlung entgegen wirkt der turbulente Wärmefluss:

$$SH = - K (T_B - T_a) \text{ mit } K = (0,87635 + 1,1763 v)$$

v Windgeschwindigkeit in m/s

damit bekommen wir folgende Abkühlungsrate:

$$CR = CR_0 - SH = 4\varepsilon_b \sigma T_0^3 (T_B - T_s) + (0,87635 + 1,1763 v) (T_B - T_a)$$

mit zunehmender Abkühlung wächst v bis der zweite Term genauso groß ist wie der erste $\rightarrow T_{B,eq}$

$$T_{B,eq} = (4\varepsilon_b \sigma T_0^3 / (4\varepsilon_b \sigma T_0^3 + K)) T_B + (K / (4\varepsilon_b \sigma T_0^3 + K)) T_a$$

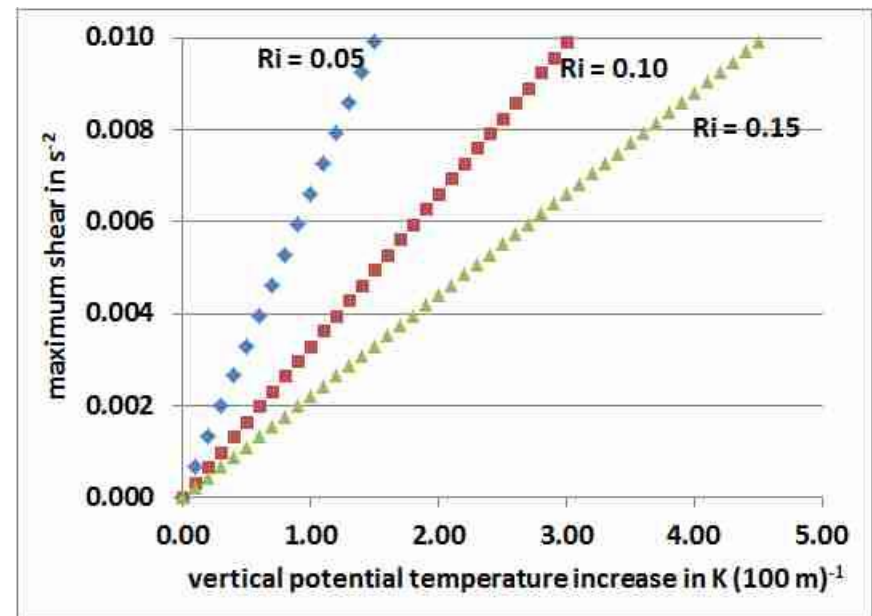
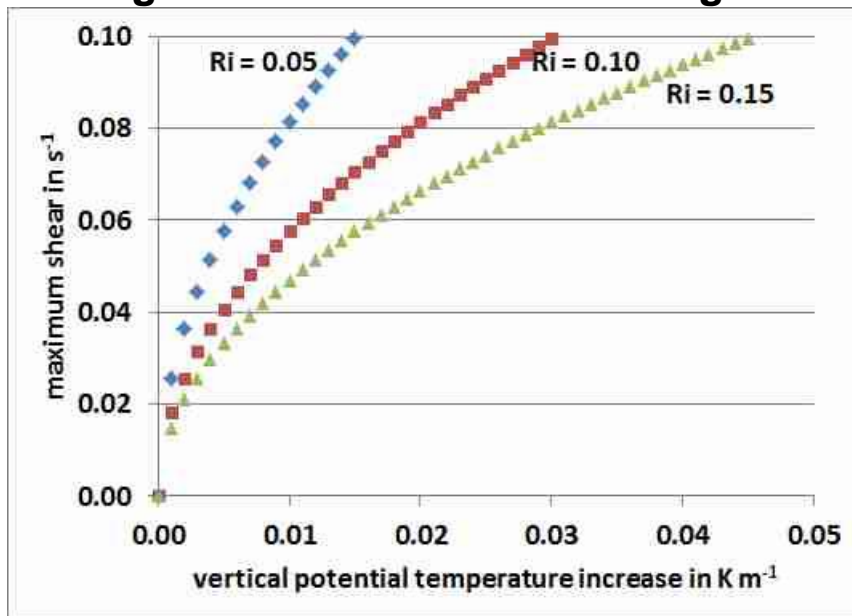
also Temperaturgradient $(T_B - T_s)$ und Scherung $v \rightarrow$ Richardson-Zahl

Inversion der Definition von Ri ergibt eine Gleichung für die maximal mögliche Scherung

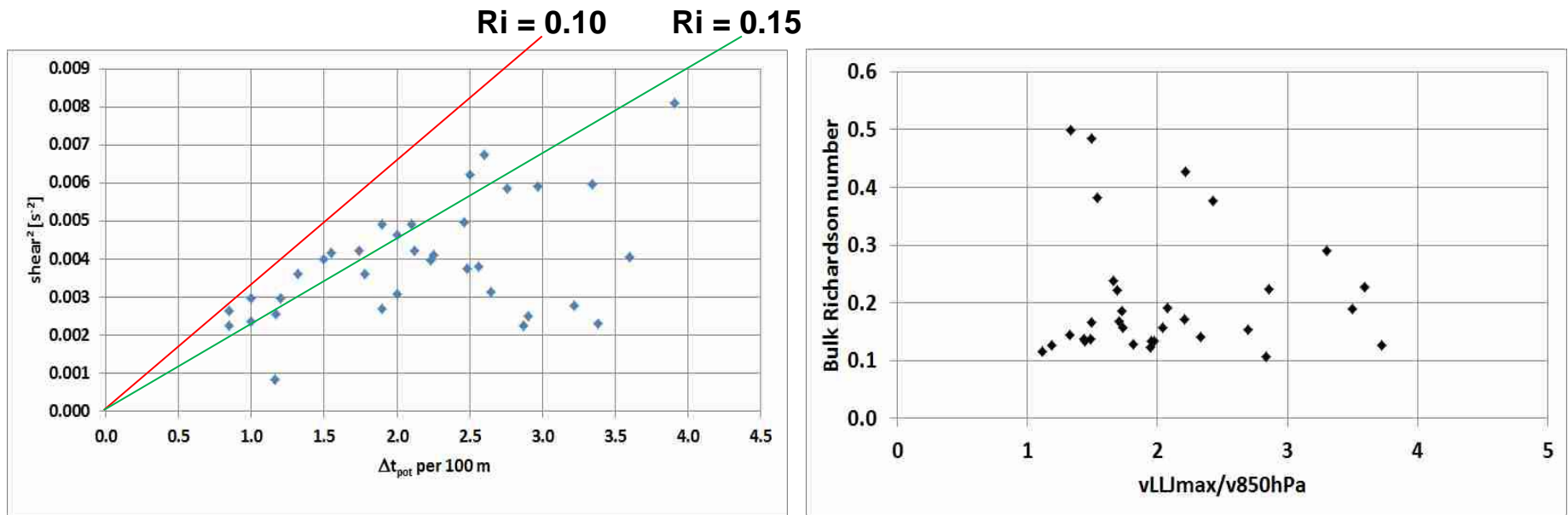
$$\frac{\partial u}{\partial z} = \sqrt{\frac{g \partial \Theta / \partial z}{\Theta Ri_e}}$$

$T_{B,eq}$ und die Temperatur am Oberrand der nächtlichen Bodenschicht ergeben den Zähler auf der rechten Seite

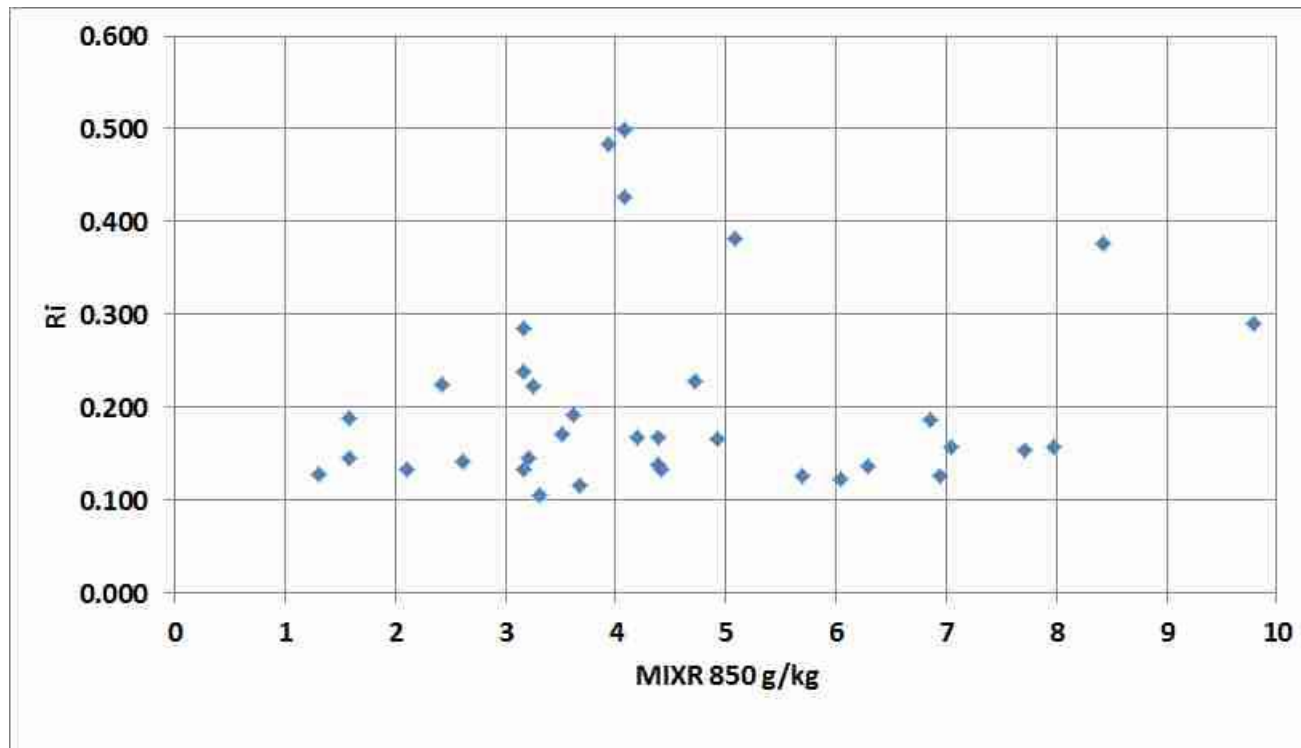
entsprechend der Wahl von Ri_e ergibt sich dann die Scherung und damit die Geschwindigkeit des LLJ



Reduktion auf die wirklich unstrittigen Fälle in Augsburg liefert:

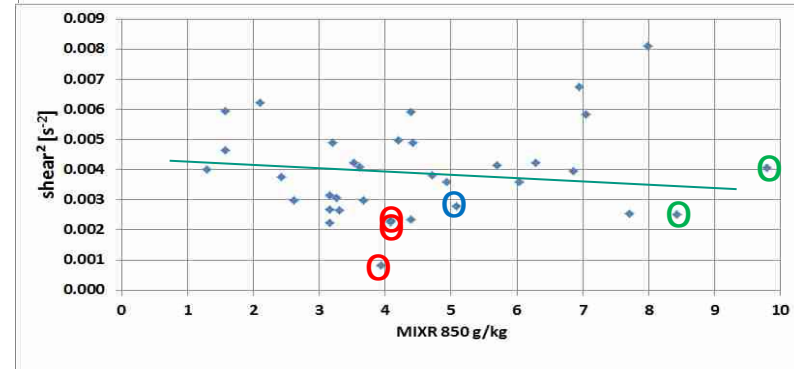
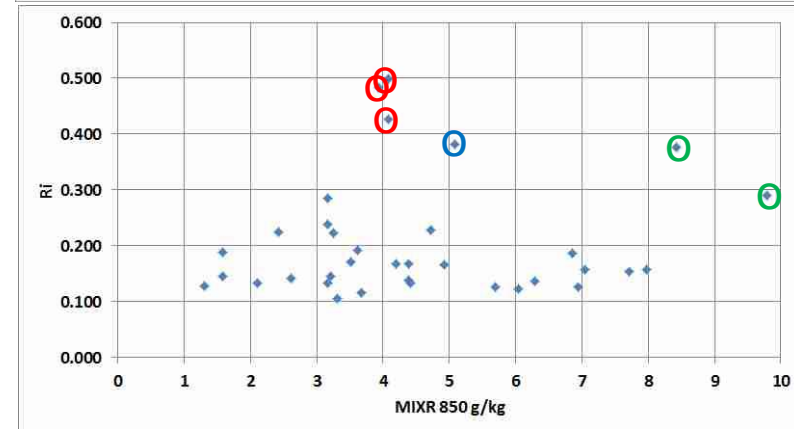
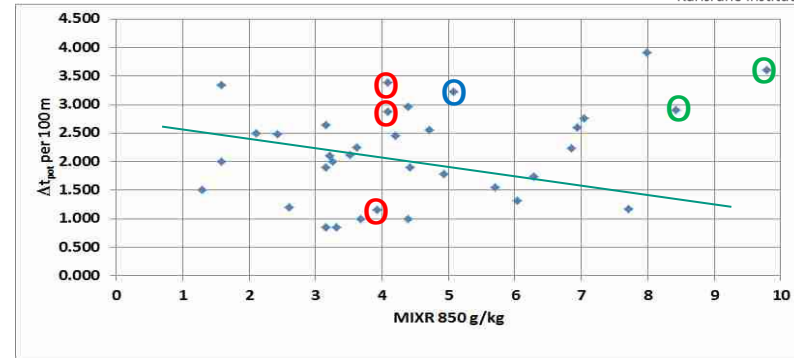
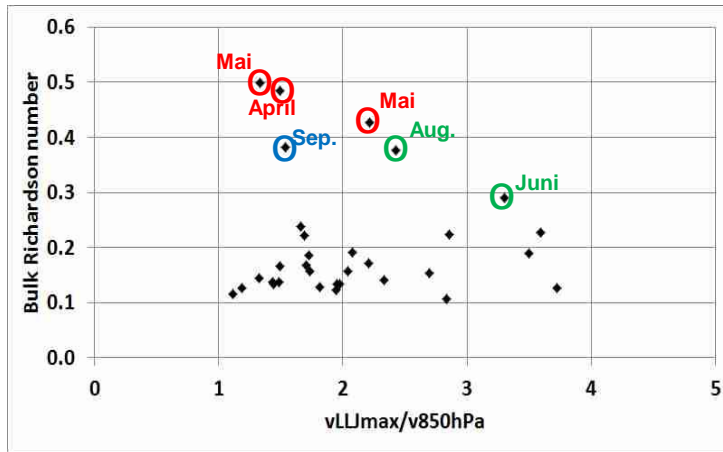


**in wirklich trockenen Situationen treten nur sehr kleine Ri-Werte auf,
in feuchteren Situationen streut es mehr (eher Nebel, Wolken, etc.)**



Einige Ausreißer sind klar identifizierbar

generell nehmen Temperaturgradient und Scherung mit zunehmender Feuchte leicht ab



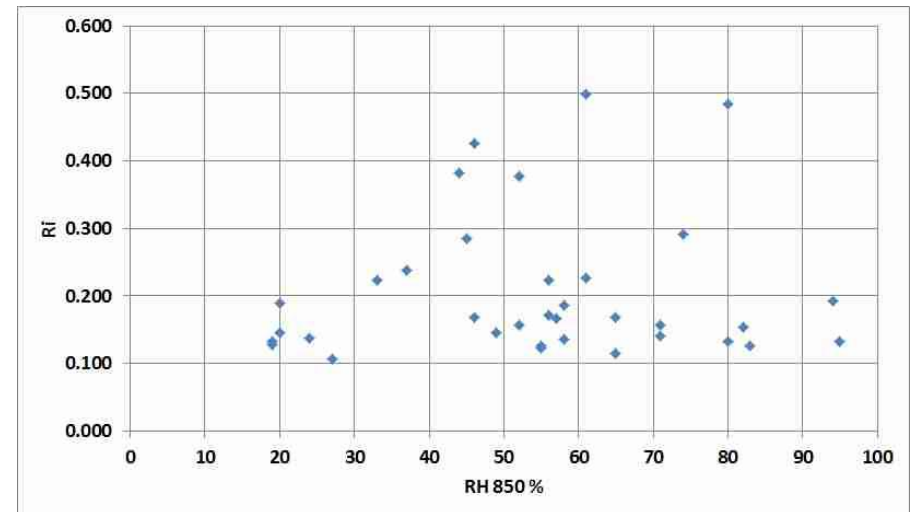
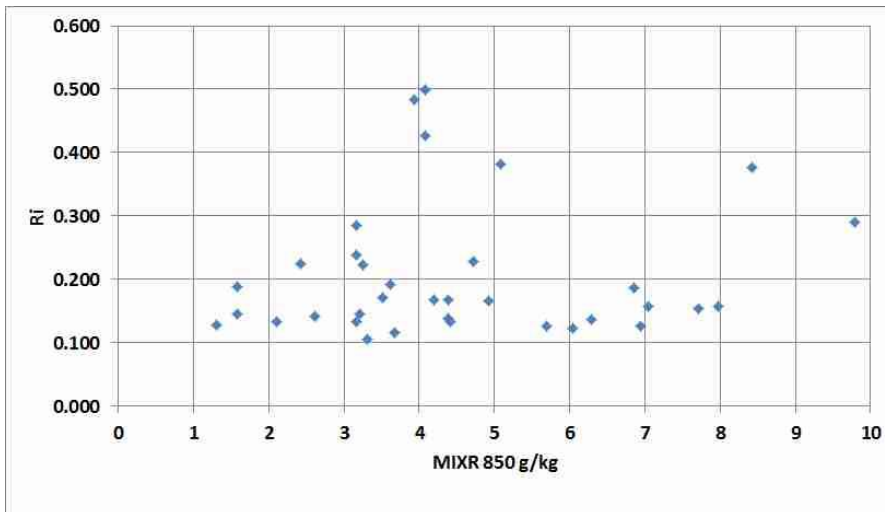
Es bleiben aber Fragen offen.

Bewölkung?

Mischungsverhältnis vs. relative Feuchte

**Gegenstrahlung
Nebel/Wolken**

**Mischungsverhältnis (bzw. abs. Feuchte, Dampfdruck)
relative Feuchte**



Genauere Stärke von low-level jets vorherzusagen bleibt schwierig

Wettervorhersagemodelle haben hier auch Schwierigkeiten

- sind auf andere Dinge hin optimiert (lange Vorhersagbarkeit)
- es gibt untere Grenzen für Turbulenz (numerische Stabilität)

Wichtigkeit von low-level jets nimmt zu

- höhere Windkraftanlagen
- Ideen, Drachen als Plattform für Windgeneratoren zu benutzen

generell offene Fragen zu low-level jets

- räumliche Gradienten
- Wechselwirkung mit Orographie

analoges Problem: ablandige Winde an Küsten (Nachfolgeprojekt zu WIPAFF)

**Thank you very
much for your
attention**

