

Veränderungen von Windfeldparametern zwischen oberer und unterer Blattspitze

Vortrag

EnMet2016

Bremerhaven, 21. April 2016

Autor: Josef Guttenberger

RSC GmbH

Neumarkter Str. 13

92355 Velburg

Windfeld ist mehrdimensional als Wechselwirkung von

- Topographie
 - Höhenlage
 - Luv-/Leelage
 - Wald-/Freiland
- Meteorologie
 - Großräumige Druckverteilung
 - Anströmrichtung
 - Stabilität
 - Zeitlicher Ablauf

Hinzu kommen die Ausmaße der WEA

- Nabenhöhe:
- Rotordurchmesser:

140 bis 150 m

100 bis 140 m

Bedeutet: Rotor überstreicht Höhenbereich
• **Etwa zwischen 50 und 250 m ü. Grund**



Generell gilt:

- Mit höherer Nabenhöhe und größerem Rotordurchmesser auch größere atmosphärische Einflüsse
- In komplexem Gelände ausgeprägte Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Gelände

Frage was komplexes Gelände ist soll hier nicht erörtert werden.

Topographische Effekte: 3D-Sicht

Vertikalprofil



Tagesgang





Topographische Effekte Beispiel: Umströmung/Überströmung

Topographische Effekte Beispiel: Leewirbel



Die Wechselwirkungen zwischen Gelände und Wind führen zu einer großen Volatilität des Windfeldes.

Aus Vertikalsondierungen im Gelände sollten Informationen dazu bereitgestellt werden können.

Auswertung von Messungen in dieser Absicht.

Im derzeitigen Stadium noch eher eine Datensammlung mit einem phänomenologischen Ansatz.

Datengrundlage: Lidarmessungen an 38 Standorten im Mittelgebirgsraum

Standardmeßhöhen bis 200 m, gelegentlich bis 250 m.

Meßhöhen: 40, (50), 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, (220, 250) m.

Datenintervall: Zehnminuten (Mittelwerte)

Messdauer: 3 – 12 Monate

Maßgeblicher Höhenbereich über NN: 100 bis 1000 m

Maßgeblicher Höhenbereich über Grund: 60 bis 200 m

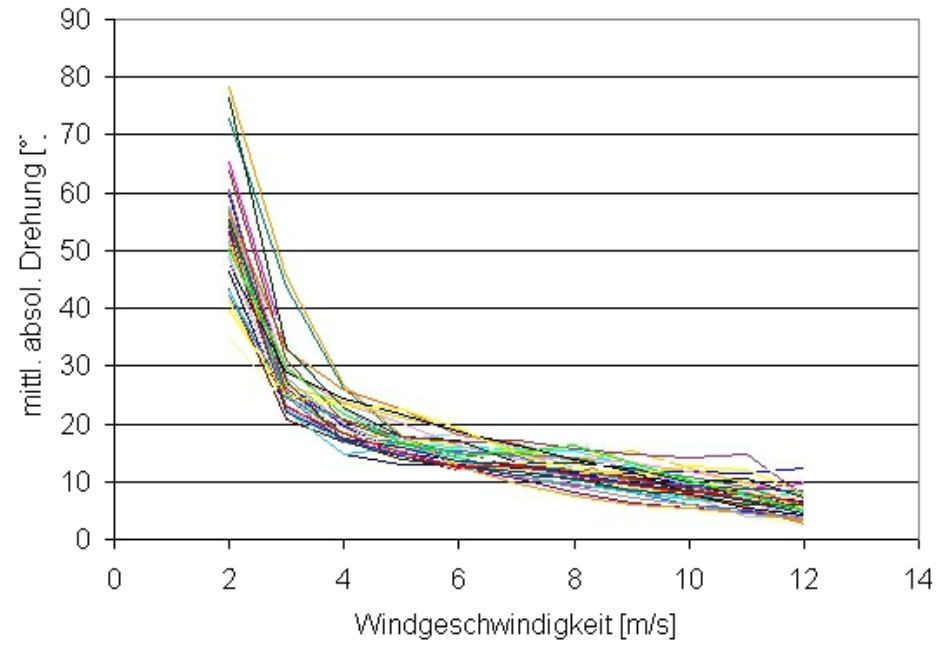
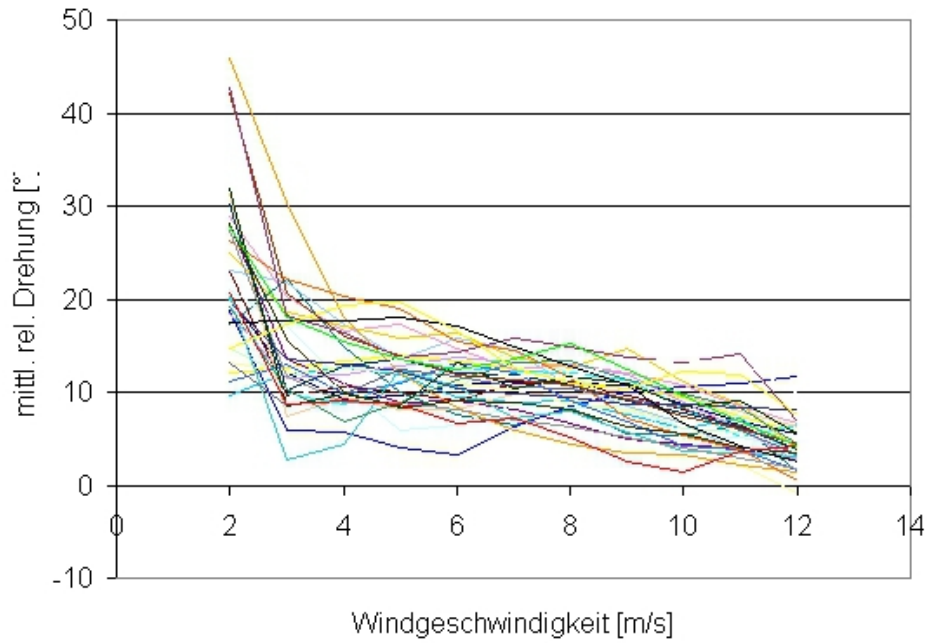
Darstellungshöhe: 140 m ü. Grund.

Was wird dargestellt?

Grundsätzlich vertikale Gradienten oder Änderungen von/der

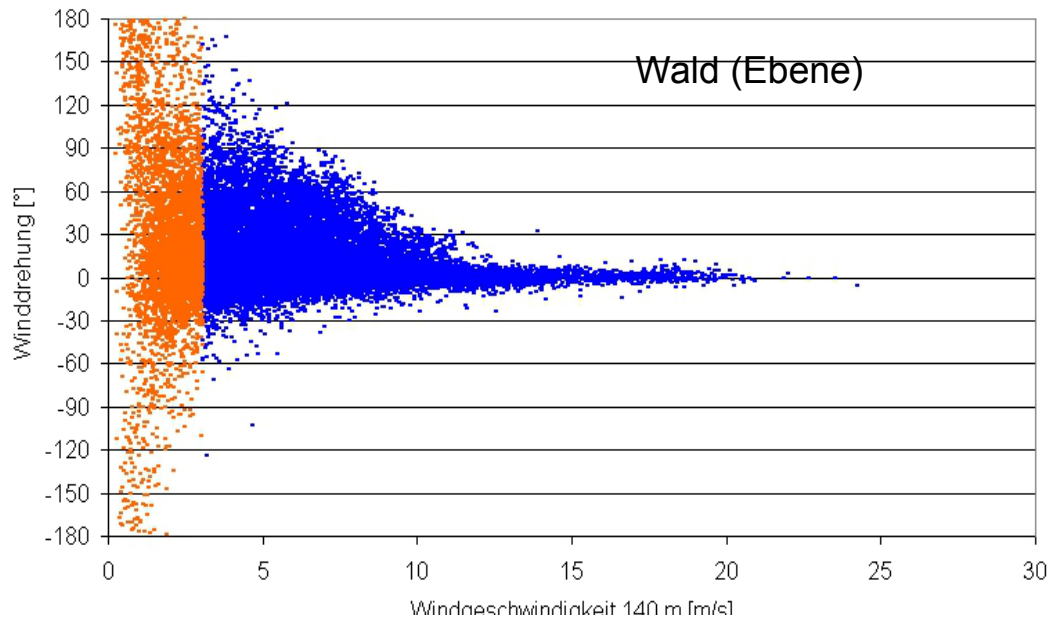
- Winddrehung (Ekman-Spirale)
- Horizontaler Windgeschwindigkeit
- Verteilungsparameter (Weibull A, k)
- Turbulenzintensität
- Vertikaler Windgeschwindigkeit
-
- Bezug zu Topographie?

Winddrehung mit der Höhe (Ekman-Spirale)

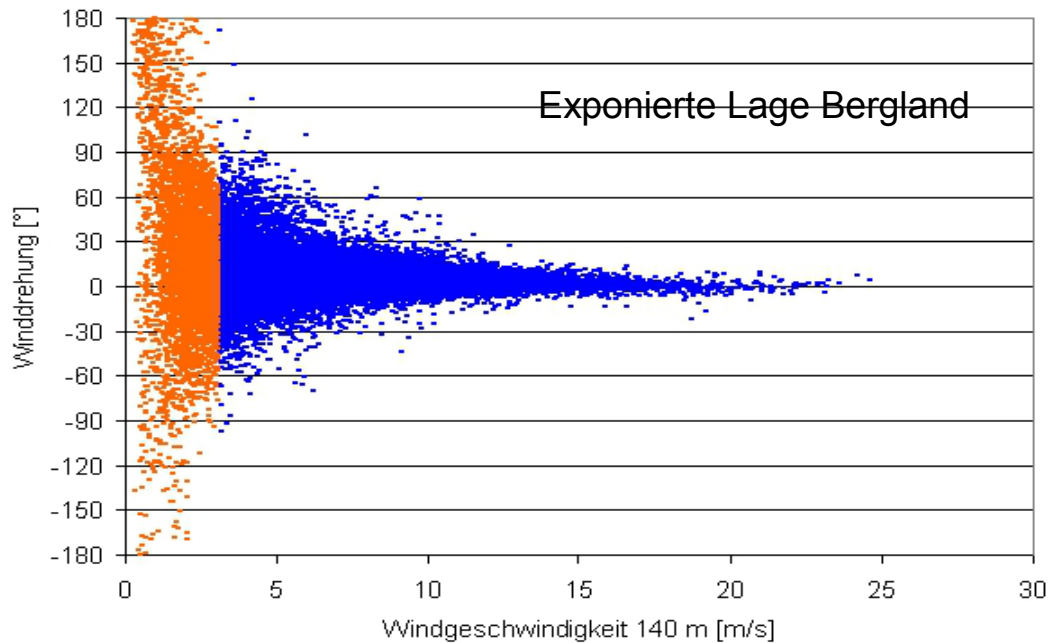


Winkeldifferenz zwischen Windrichtung in 60 und 200 m
nach rechts (im Uhrzeigersinn) ist positiv

Winddrehung mit der Höhe (Ekman-Spirale)



Einzelwerte der Winddrehung



Einschub: Formeln zum Verständnis der nachfolgenden Folien

(Auszug aus windographer Handbuch)

$$U(z) = \beta z^\alpha$$

where:

- U is the average wind speed (in m/s) at some
- (z) height above ground z (in m)
- β is a constant
- α is the **power law exponent** (alpha)

$$U(z) = \begin{cases} \frac{U^*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{if } z > z_0 \\ 0 & \text{if } z \leq z_0 \end{cases}$$

where:

- U is the wind speed [m/s] at some height above
- (z) ground z [m]
- U^* is the friction velocity [m/s]
- k is von Karman's constant (0.4)
- z_0 is the surface roughness [m]
- \ln is the natural logarithm

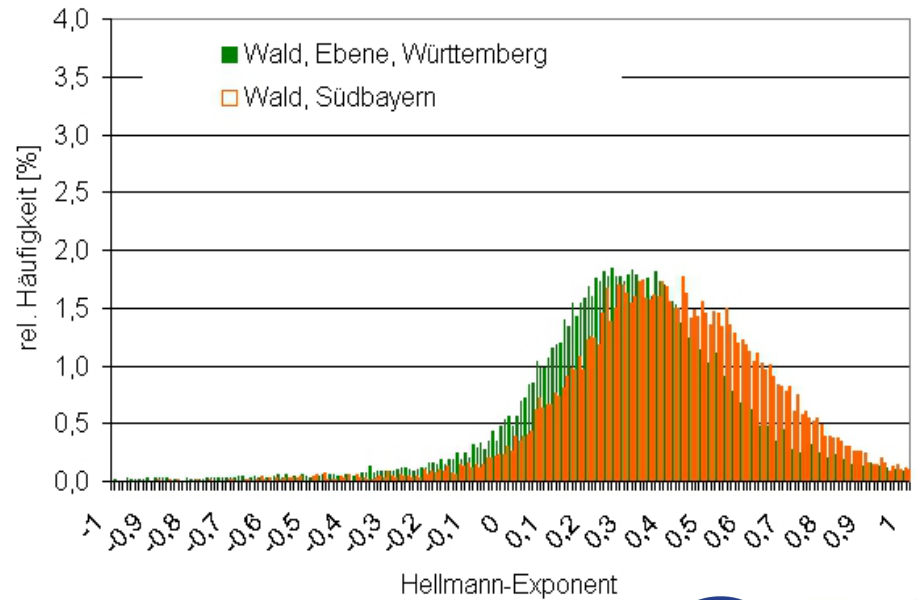
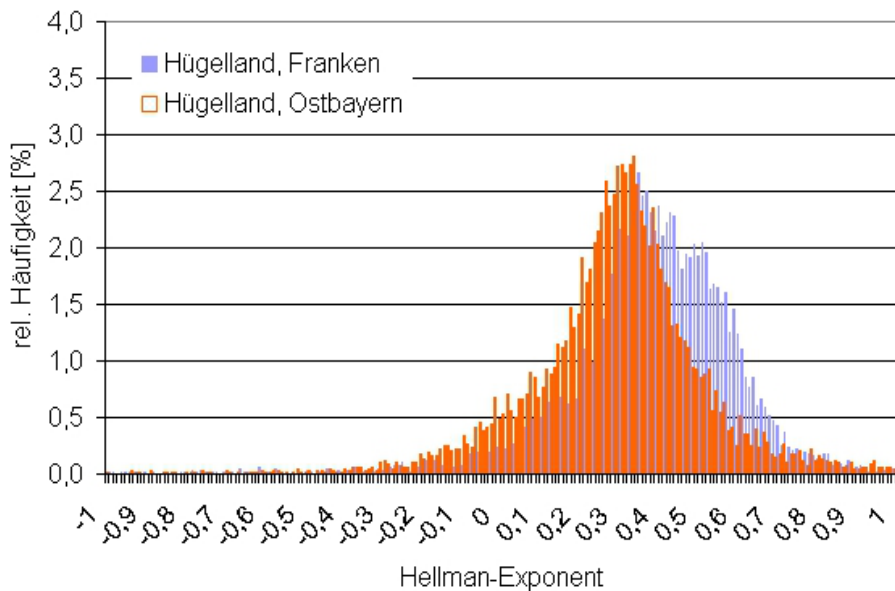
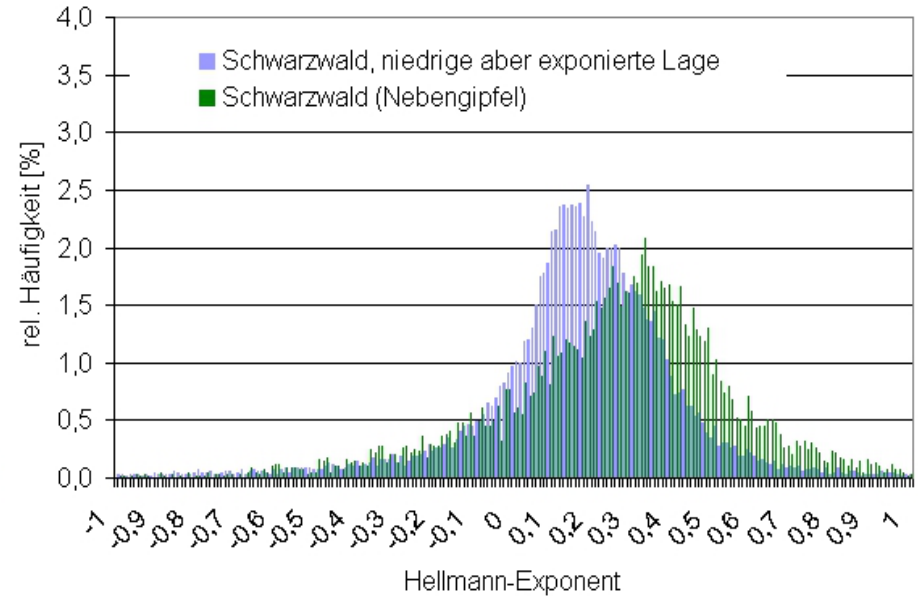
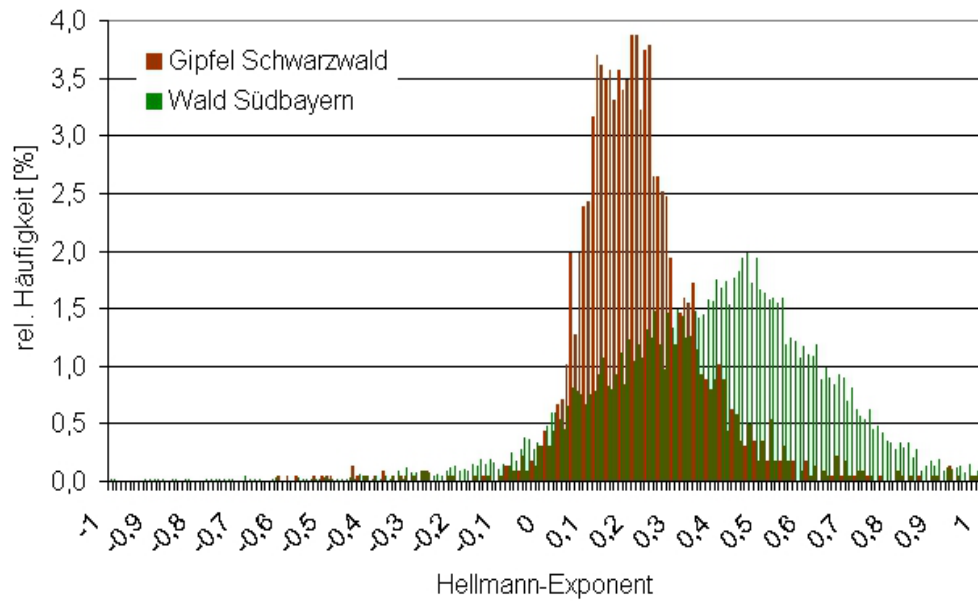
$$U(z) = \frac{U^*}{k} \ln(z) - \frac{U^*}{k} \ln(z_0)$$

This equation is now in the general slope-intercept form: $y = mx + b$. A plot of wind speed versus the logarithm of height would therefore produce a straight line with:

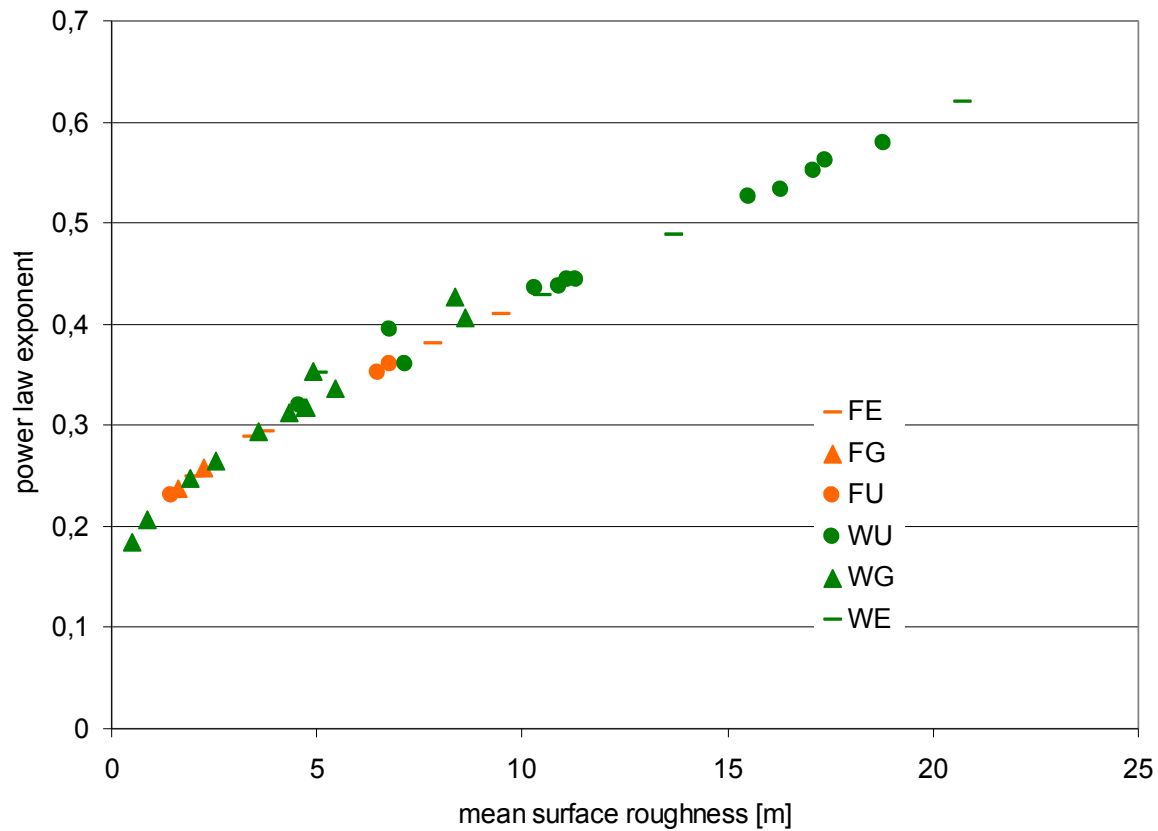
$$\text{Slope} = \frac{U^*}{k}$$

$$\text{Intercept} = -\frac{U^*}{k} \ln(z_0)$$

„power law“ - Exponenten in verschiedenen Umgebungen



Topographische Abhängigkeiten?



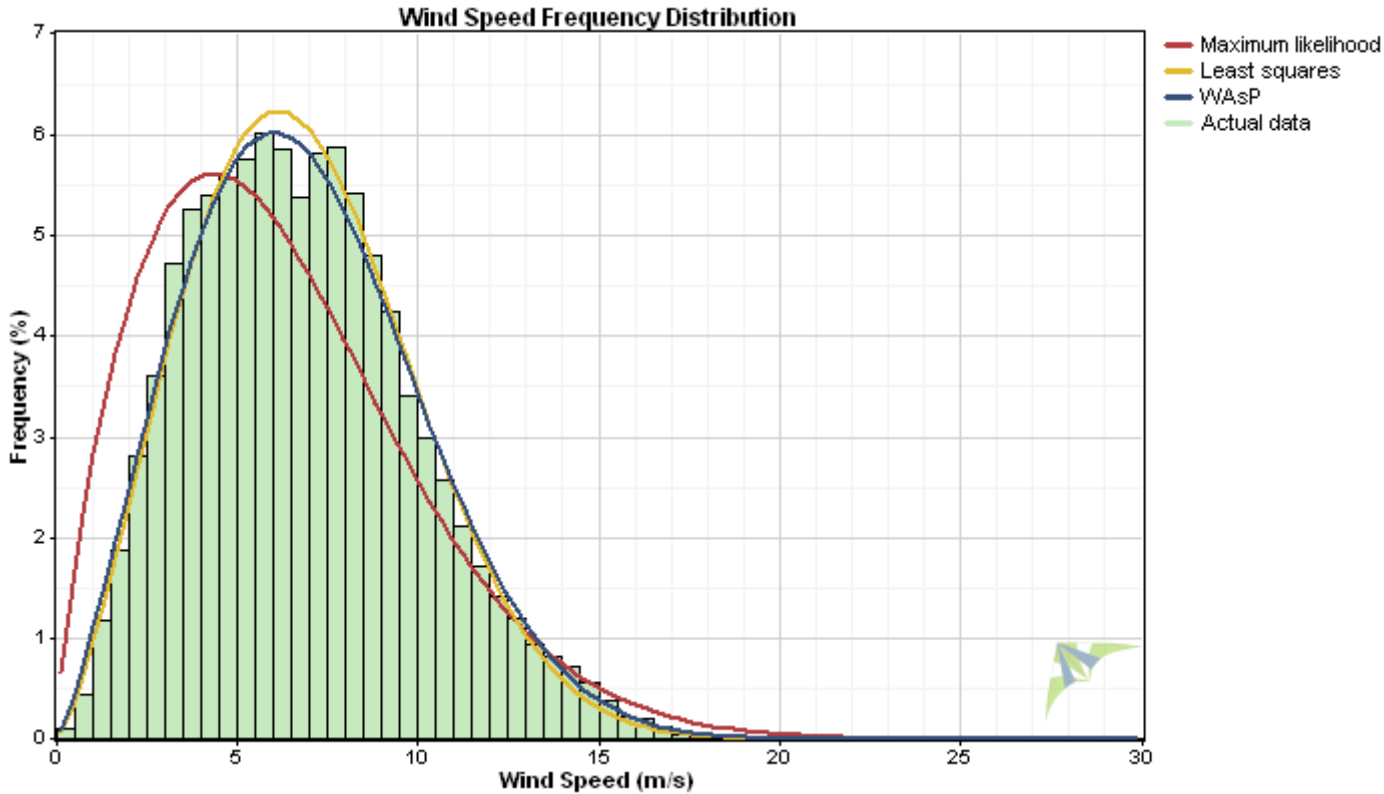
Mit aufwändigeren Verfahren:

Z_0	u^*
9,0	0,77
10,0	0,99
4,5	0,71
8,0	1,01

- FE (Freiland, Ebene)
- ▲ FG (Freiland, Gipfel)
- FU (Freiland, unbestimmt)
- WU (Wald, unbestimmt)
- ▲ WG (Wald, Gipfel)
- WE (Wald, Ebene)

Weibull Anpassung

(Auszug aus windographer Handbuch)



$$f(U) = \frac{k}{c} \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right]$$

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right]$$

where:

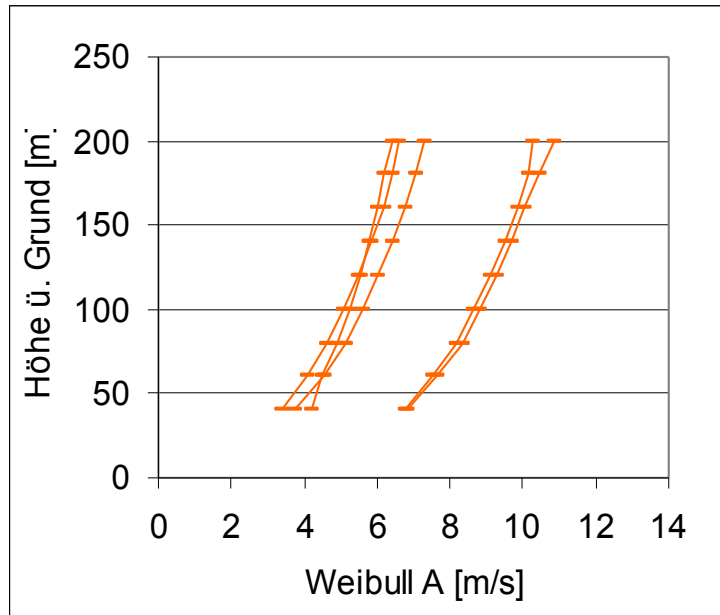
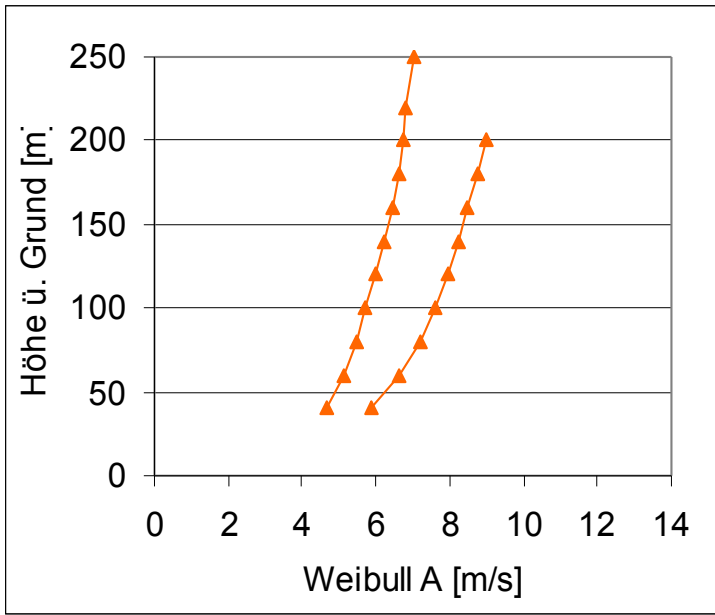
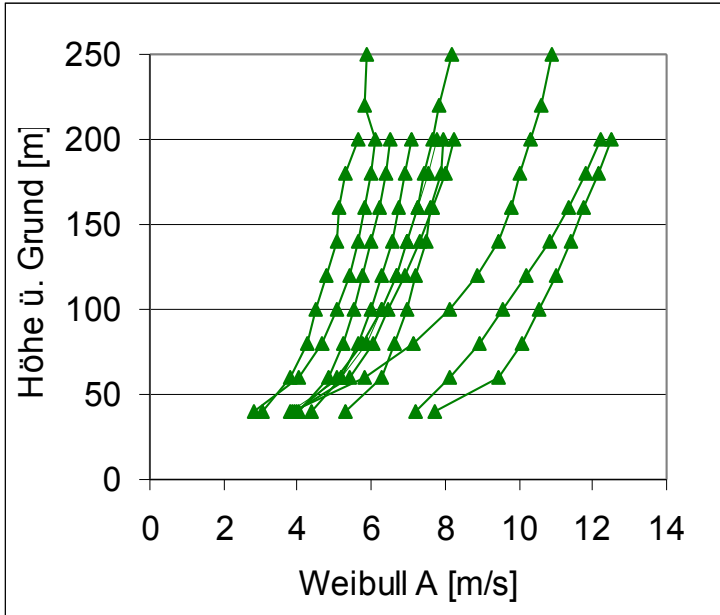
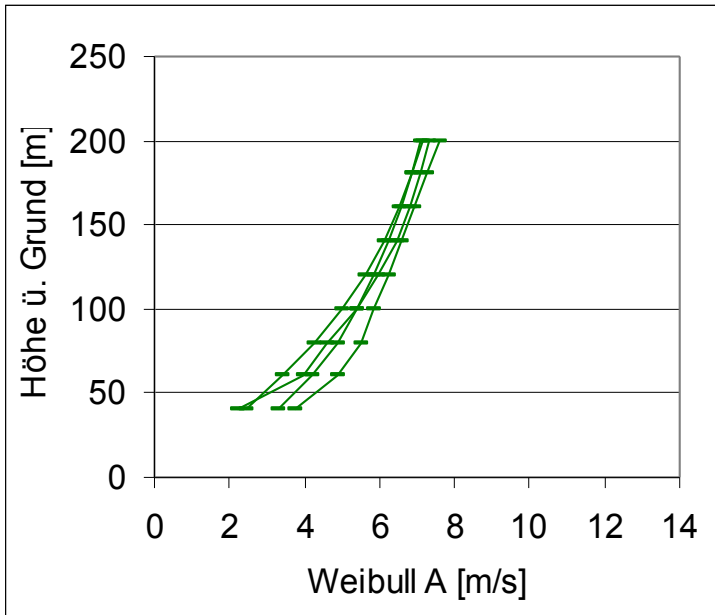
U is the wind speed

c is the Weibull c factor (same units as U)

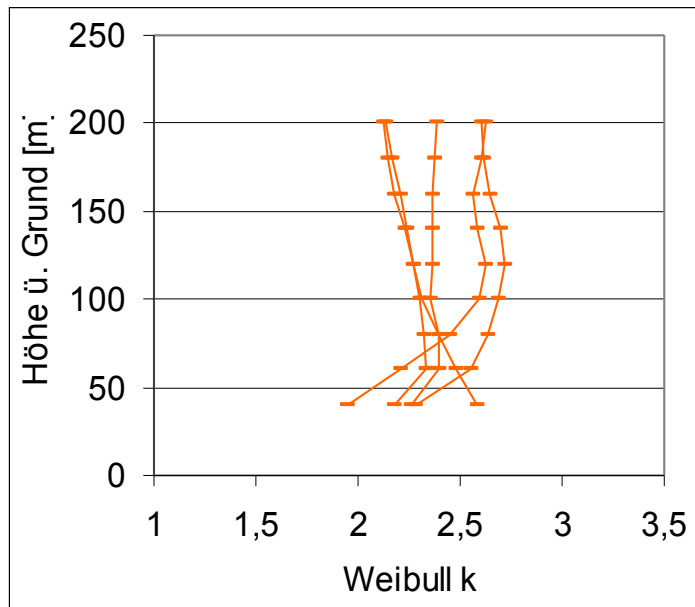
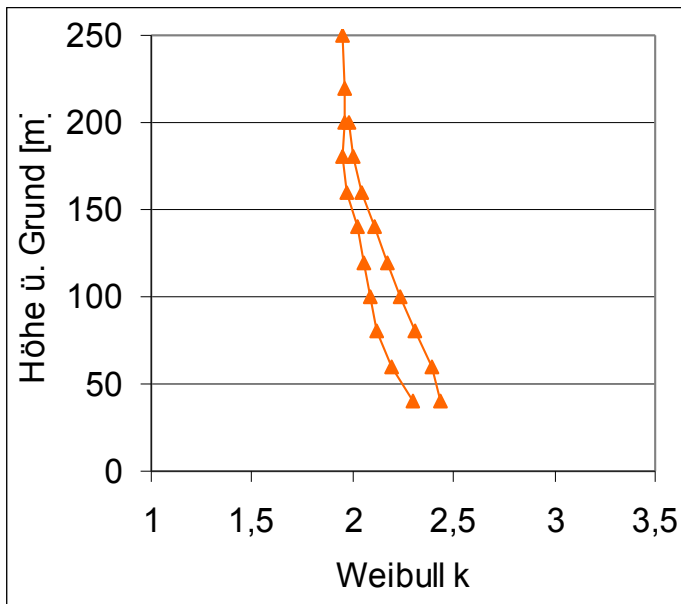
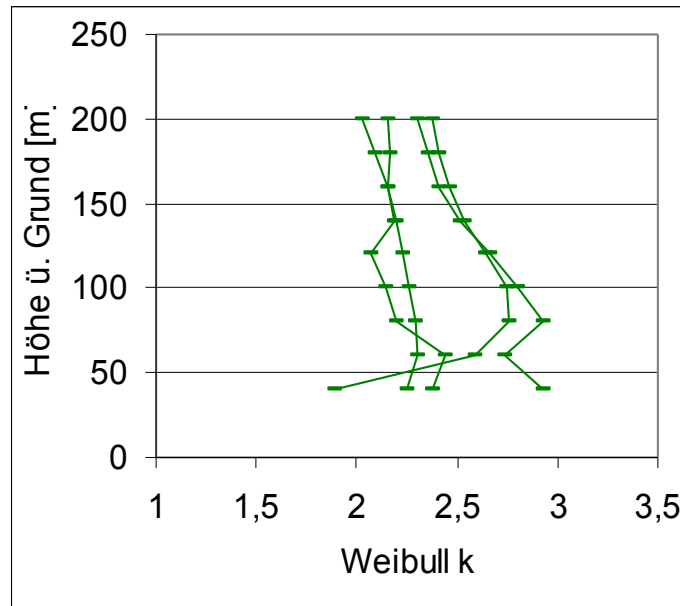
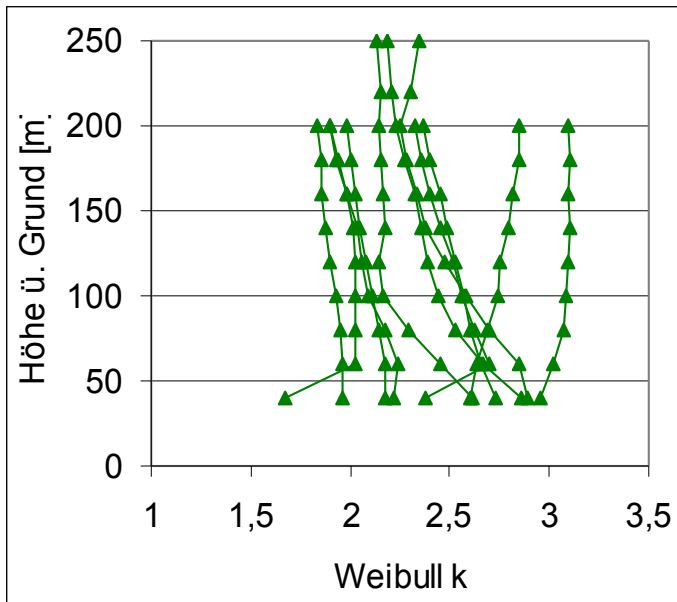
k is the Weibull k factor (unitless)

c entspricht A

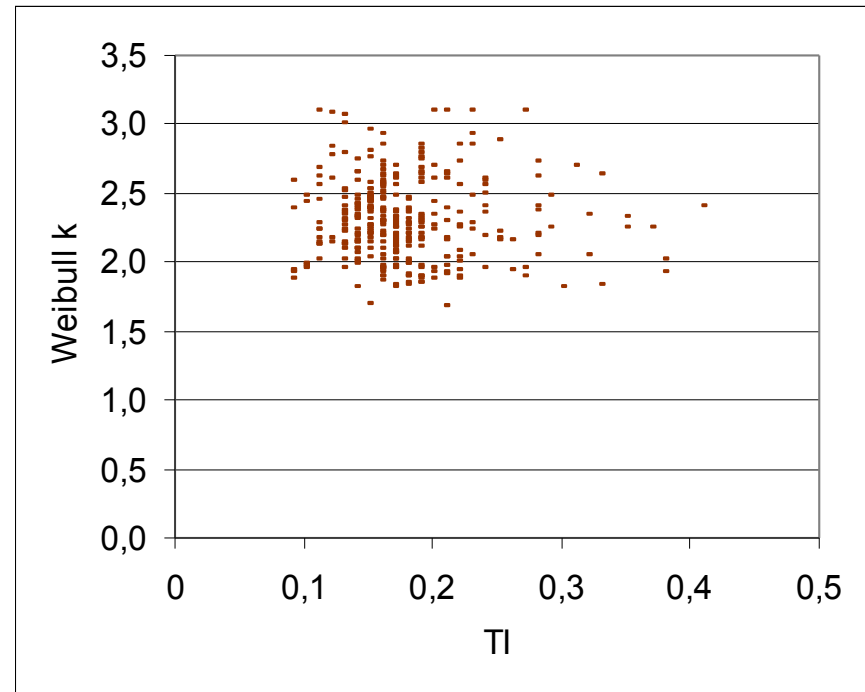
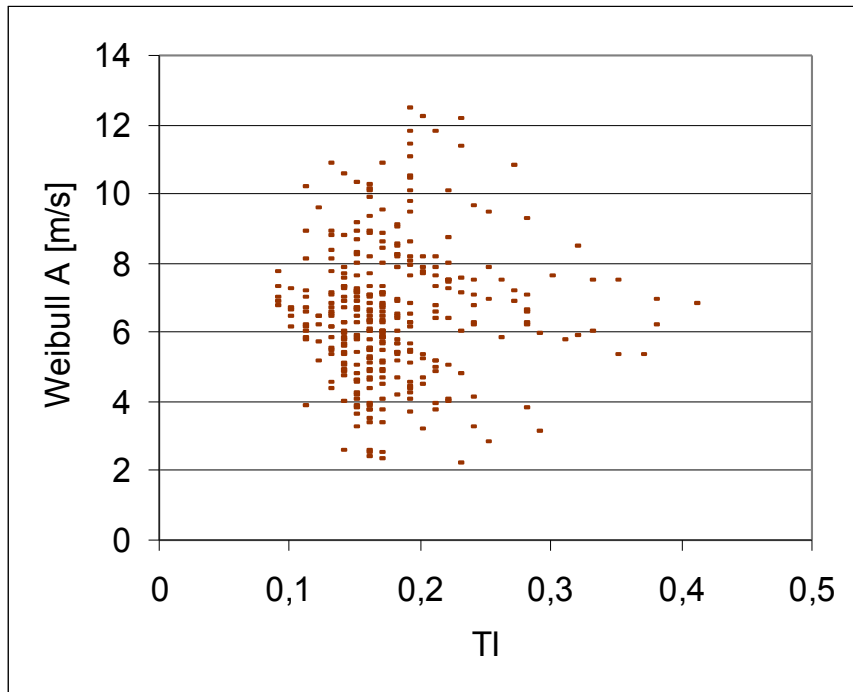
Verteilungsparameter Weibull A



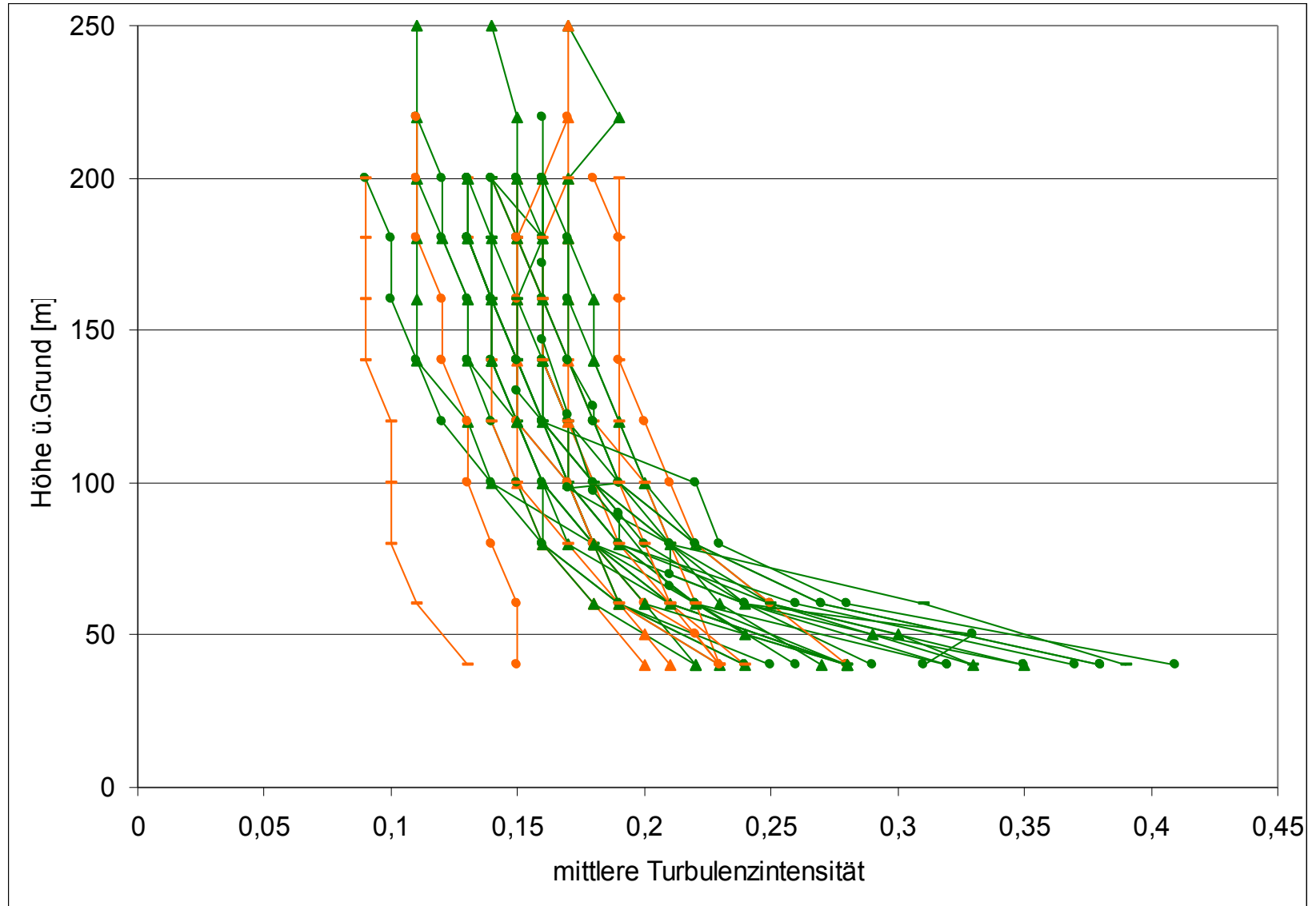
Verteilungsparameter Weibull k



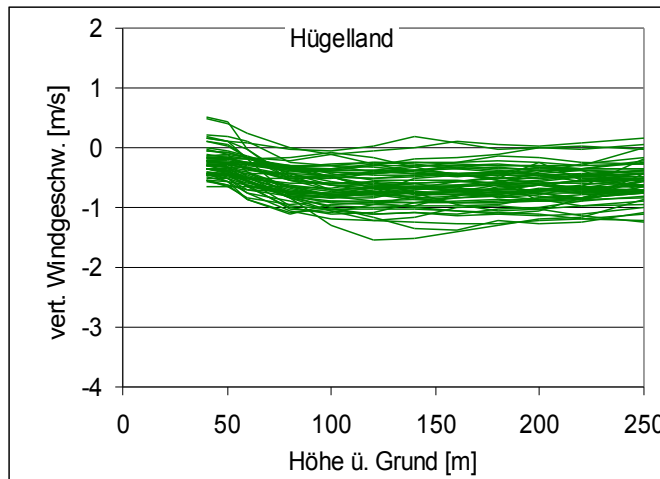
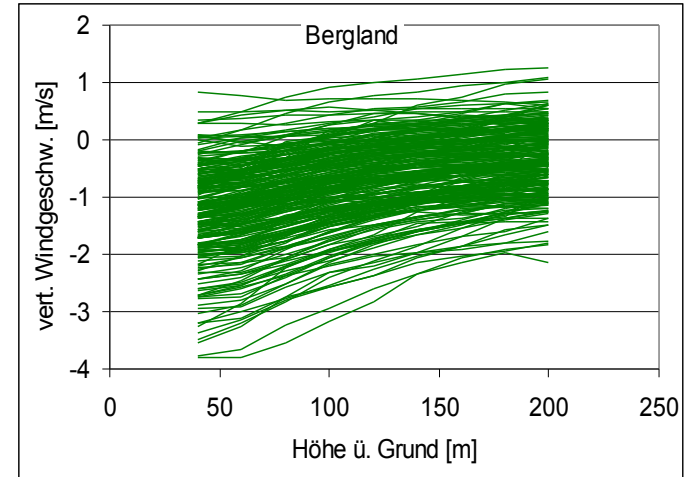
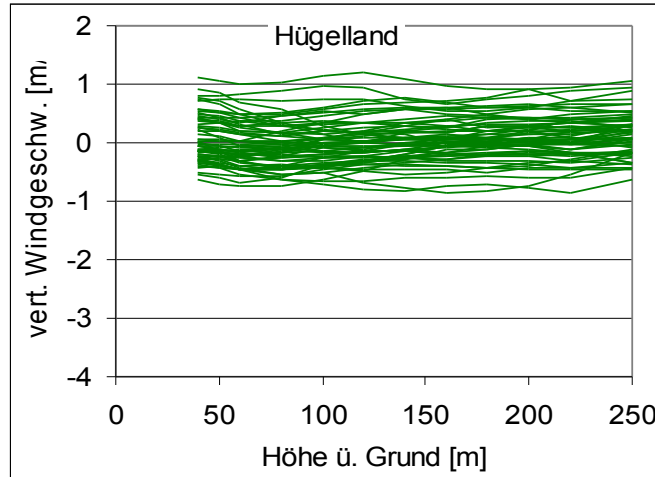
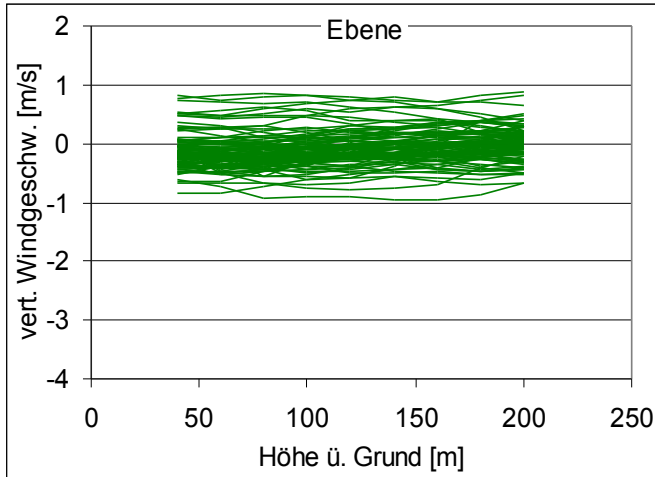
Weibullparameter gegen Turbulenzintensität



Turbulenzintensität

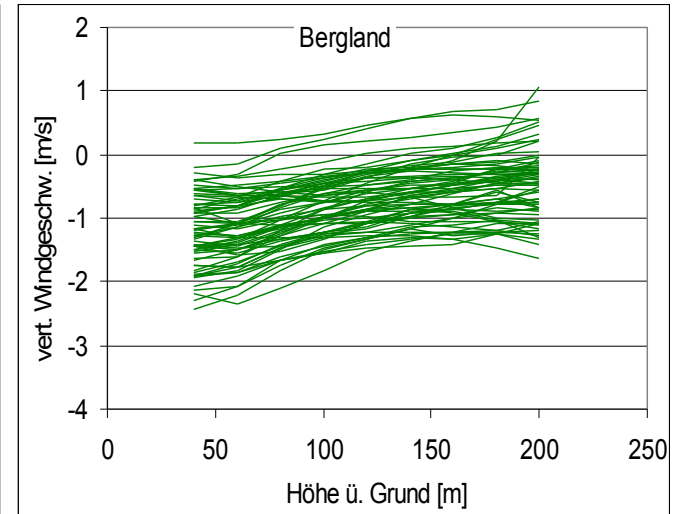
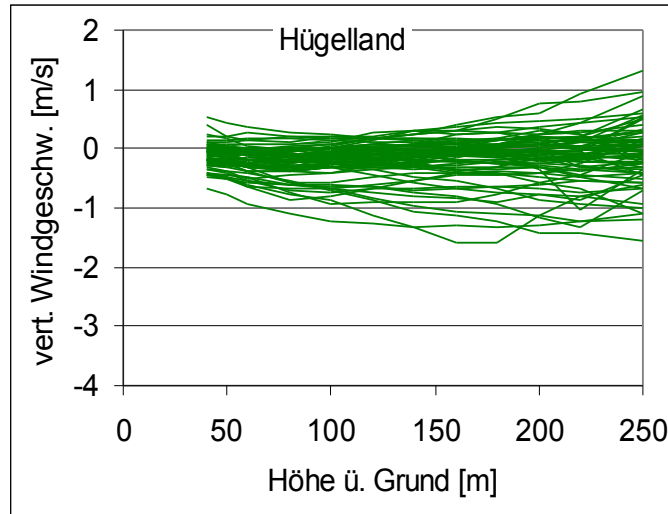
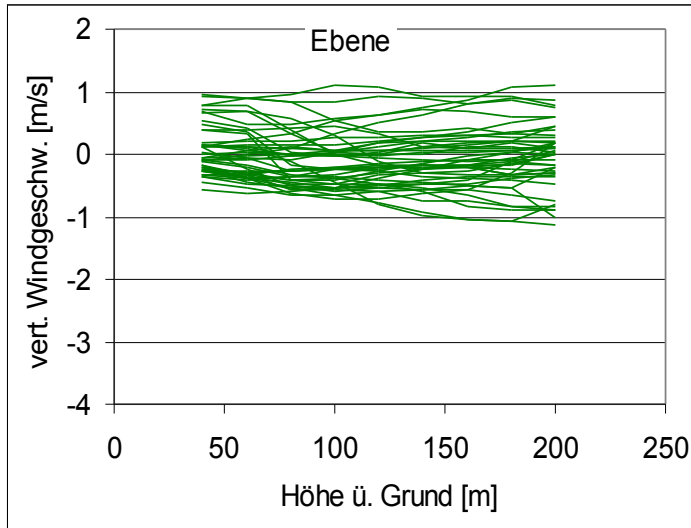


Vertikalkomponente der Windgeschwindigkeit



Profile der Vertikalkomponente aus Hauptwindrichtung, Wintermonate, mittags

Vertikalkomponente der Windgeschwindigkeit



Profile der Vertikalkomponente aus Hauptwindrichtung, Sommermonate, mittags

Literatur:

Emeis, St. (2016): Windphänomene in der atmosphärischen Grenzschicht, die die Nutzung der Windenergie entscheidend beeinflussen. *promet*, Jahrg. 39, Nr. ¾, S. 151- 162.

Strauss, S.; Beyer, E; Friedl, R; Pfab, D (2012): Wind profiles over forest for wind energy in high hub heights. Poster DEWEK, Bremen.

Beyer, E; Friedl, R (2015): Sectoral Analysis of Wind Speed and Turbulence Intensity over Forest and Open Land. Poster EGU, Wien.



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!