



windhunter®

mierz wysoko

# Windmessung in komplexem Gelände

**24. Windenergietage  
10.11. - 12.11.2015  
Linstow**

**Firma:** windhunter\_gmbh

**Autor:** Johannes Lange

Linstow, 10.11.2015





## Agenda

### Vorstellung Windhunter

### Windmessung allgemein

1. Grundlagen
2. Technik und Methoden
3. Normen und Standards

### Besonderheiten im komplexen Gelände

4. Strömung
5. Eis und Schnee
6. Gelände und Boden

### Fazit





# windhunter®

mierz wysoko

windhunter baut seit über 15 Jahren Windmessmasten auf der ganzen Welt auf - insgesamt über 850 Masten in Polen, Deutschland, Frankreich, Rumänien, am Polarkreis, in Nigeria, Costa Rica, Chile, Uruguay und vielen mehr.

## Büros:

- Koszalin (Firmensitz)
- Opole/Chróścice
- Berlin
- Kapstadt (im Aufbau)



## Weitere Firmen der windhunter-Gruppe:

- windhunter serwis (Mastbau in Polen und weltweit)
- windhunter GmbH (betreut den deutschsprachigen Markt)
- akademia\_wiatru (windhunter training camp, BST-Kurse nach GWO-Richtlinien)





windhunter®

mierz wysoko



## Windhunting worldwide

Quelle: windhunter

An mehr als **850 Standorten** messen Windhunter-Masten den Wind für über **200 verschiedene Kunden**. Unsere Masten stehen in Poland, Germany, Argentina, Costa Rica, Chile, Uruguay, Sweden, Finland, Norway, France, Holland, Switzerland, Austria, Bulgaria, Romania, Greece, Serbia, Italy, Lithuania, Estonia, Czech Republic, Nigeria, vom Polarkreis bis zum Equator.





windhunter®

mierz wysoko

# Windmessung





windhunter®

mierz wysoko

# 1. Grundlagen



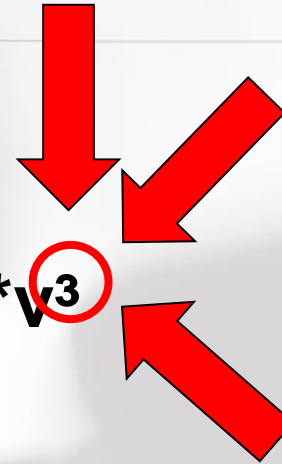


windhunter®

mierz wysoko

# 1. Grundlagen

$$P = 1/2 * \rho * A * v^3$$



**3. Potenz der Windgeschwindigkeit:  
kleiner Messfehler, enorme Auswirkung!**

P = Leistung des Windes  
 $\rho$  = Luftdichte  
A = Rotorfläche  
v = Windgeschwindigkeit

$$E = P * h$$

$$E_{wea} = P * h * c_p$$

E = Energie  
h = Zeit  
 $c_p$  = Wirkungsgrad





### Typische Anwendungen

- Windpotentialstudie, Ertragsgutachten
- Leistungskurvenvermessung
- Leistungskurvenvermessung im Streitfall in vorhandenen Windparks
- Lidar-Validierung
- Referenzmessungen (Referenzmasten, SCADA)
- Windatlas
- Vorabschätzung





mierz wysoko

windhunter®

## 2. Technik und Methoden



*Ziel: Messung der horizontalen Windgeschwindigkeit*

- a) Messung *in situ* mit Messmast:  
Schalensternanemometer (Drehzahl)  
Propelleranemometer (Drehzahl)  
Ultraschall (Laufzeit)

- b) Remote sensing (Fernerkundung):  
Lidar (Dopplereffekt)  
Sodar (Dopplereffekt)



## 2. Technik und Methoden



windhunter®

mierz wysoko



Quelle: windhunter





windhunter®

mierz wysoko



3-D



2-D

Ultrasonic -  
Anemometer





windhunter®

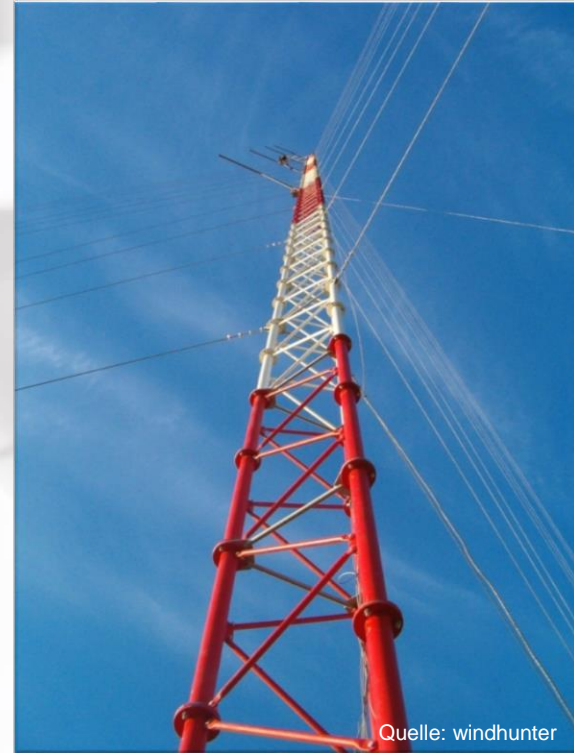
mierz wysoko

### Rohr- und Gitter-Masten als Sensorträger



Quelle: windhunter

bis 100 m

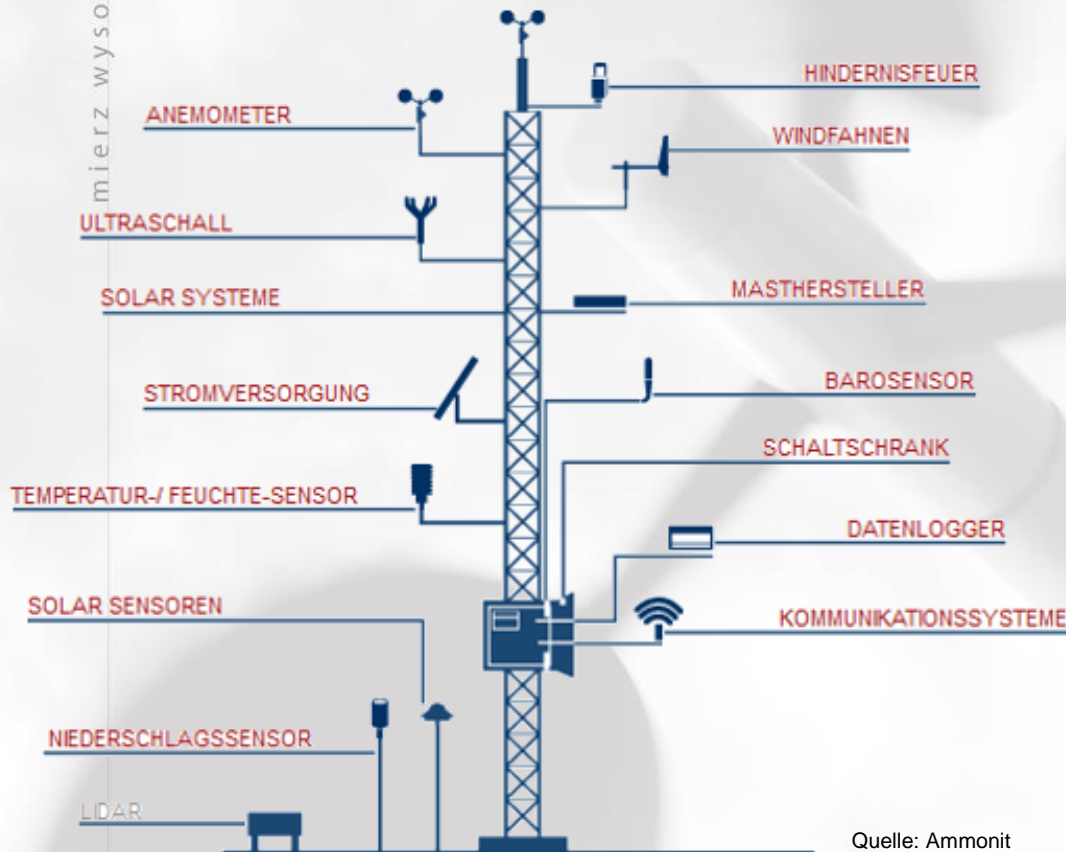


Quelle: windhunter

bis 160 m



### Messmast mit Sensoren





windhunter®

mierz wysoko

**Lidar** (EN. *Light Detection and Ranging*):  
Nutzt die Reflexion von Lichtwellen an Aerosolen  
in der Luft und den Doppler-Effekt zur  
Bestimmung der Windgeschwindigkeit aus der  
Ferne



**Sodar** (EN. *Sound Detection and Ranging*):  
Nutzt Reflexionen von Schallwellen an  
Dichteschwankungen in der Atmosphäre und den  
Dopplereffekt zur Bestimmung der  
Windgeschwindigkeit aus der Ferne

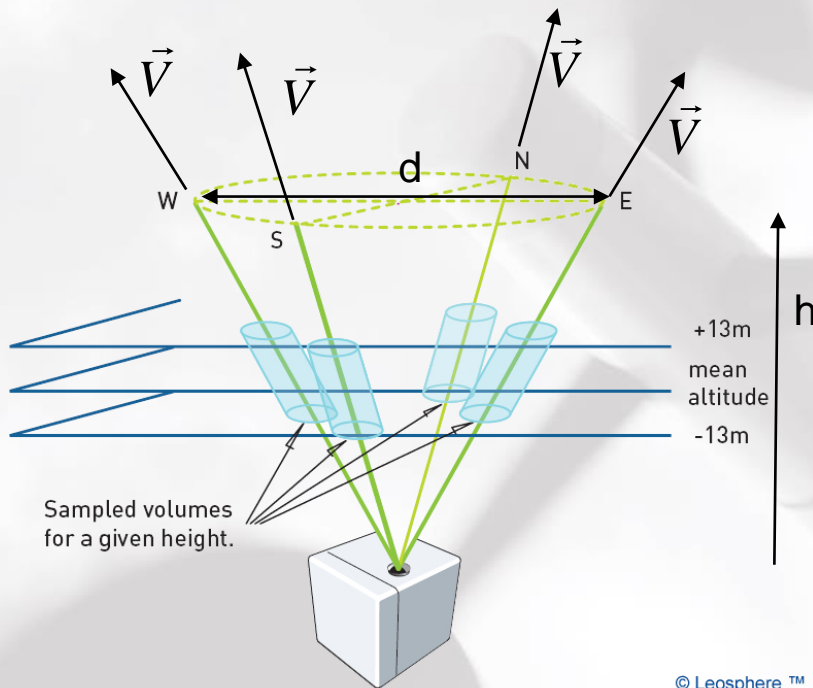




windhunter®

mierz wysoko

### Messprinzip bei Monostatischen Lidar- und Sodargeräten



Problem:

räumlich getrennte Messung der Geschwindigkeitsvektoren  $d = h$  (Lidar): auf 100 m Messhöhe ca. 100 m horizontaler Abstand

- ⇒ Funktioniert nur unter der Annahme eines homogenen Windfeldes.
- ⇒ Genau das ist bei stark komplexem Gelände NICHT gegeben





windhunter®

s.o.k.o

## 2. Technik und Methoden

### Stromversorgung



PV, kleine Windturbine,  
Brennstoffzelle

Diesलगенератор





### Vor- und Nachteile Messmast

- + bewährte Technik, viel Erfahrung
  - + sehr gute Vergleichbarkeit mit Leistungskennlinien und historischen Daten
  - + geringe Unsicherheiten auch in komplexem Gelände
  - + Messung *in situ*, Punktmessung
  - + geringer Stromverbrauch
  - + Ultrasonics gut beheizbar, gut geeignet für Eis und Schnee
- 
- Aufwand wächst mit Messhöhe
  - Baugenehmigung
  - erhöhter Aufwand bei schwierigem Gelände (Höhenunterschiede > 15m, Grundwasser, Fels, schlechter Zugang)





### Vor- und Nachteile Fernerkundung:

- + mobil
- + kein Genehmigungsaufwand
- + große Höhen leichter zu erreichen (160 m – 200 m )
- + Messung über den gesamten Rotorkreis
- + keine Trägheit, kein Nachlauf
- Höhere Unsicherheit, v.a. bei Sodar
- Räumlich getrennte Messung der Geschwindigkeitsvektoren
- Problematisch bei nicht-linearem Windfeld
- Problematisch im komplexen Gelände
- Schlechte Vergleichbarkeit mit herkömmlicher Messung
- Hoher Stromverbrauch





windhunter®

mierz wysoko

## 3. Normen und Standards





## IEC 61400-12-1

**Der europäische Standard** Windenergieanlagen Teil 12-1: Messung des Leistungsverhaltens einer Windenergieanlage (IEC 61400-12-1:2005) „beschreibt Verfahren zur Bestimmung der Leistungskurve von Windenergieanlagen (WEA)“

**Annex G** beschreibt das Layout und Design des Messmastes

**Ertragsgutachten** beziehen die gemessene Windgeschwindigkeit auf die Leistungskurve - darum auch hier nach IEC 61400-12-1 Annex G messen!

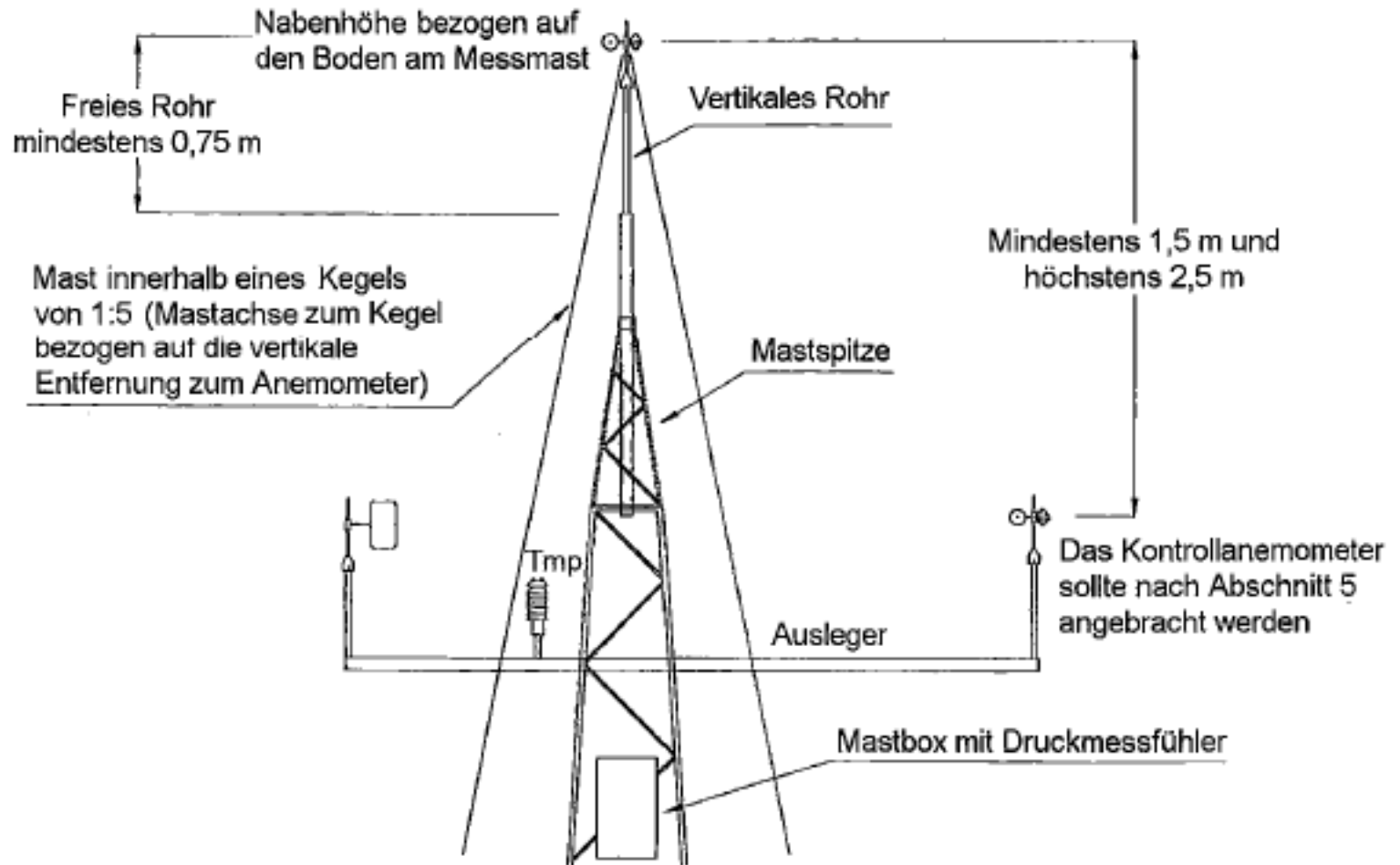


### 3. Normen und Standards - IEC 61400 -



windhunter®

mierz wysoko



Quelle: IEC 61400





### Die neue TR6

Die Technische Richtlinie 6 der FGW (Fördergesellschaft Windenergie) „beschreibt Verfahren zur Bestimmung des Windpotenzials und der Energieerträge an Standorten von Windenergieanlagen (WEA)“

**TR6-konform = Bankfähig**

Die neue TR6 Rev. 9 schreibt fest, was auch vorher bereits von den Gutachtern empfohlen wurde:

- messen wenn keine Datenquelle (Turbine oder Messmast) verfügbar ist in
  - 10km (flaches Gelände)
  - 2km (komplexes Gelände)
- Messung auch per Fernerkundung (Lidar oder Sodar) und Ultrasonic möglich (bei höheren Unsicherheiten)





windhunter®

vysoko

## Die neue TR6

### 3. Normen und Standards - TR6 -



Quelle: windhunter

**Flaches Gelände**



Quelle: windhunter

**Komplexes Gelände**





windhunter®

mierz wysoko

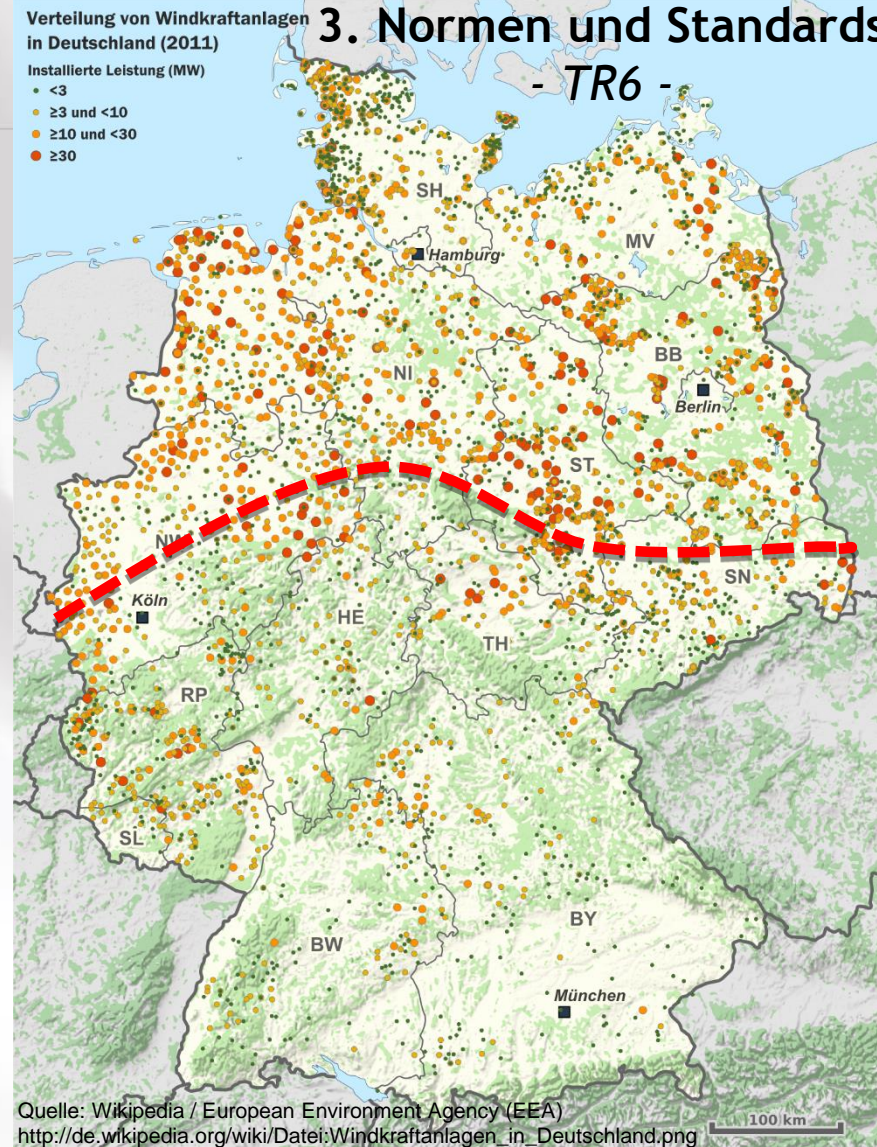
## Die neue TR6

In der norddeutschen Tiefebene sind innerhalb von 10km meistens etliche Turbinen verfügbar, im Mittelgebirge und in Süddeutschland nicht. Erst recht nicht bei 2km Radius!

Daraus folgt: wer in Deutschland im Mittelgebirge einen Windpark plant kommt meistens um eine Messung nicht mehr herum - und in den Alpen erst recht nicht!

### 3. Normen und Standards

- TR6 -





windhunter®

mierz wysoko

# Besonderheiten der Windmessung im komplexen Gelände





windhunter®

mierz wysoko

## 4. Strömung





windhunter®

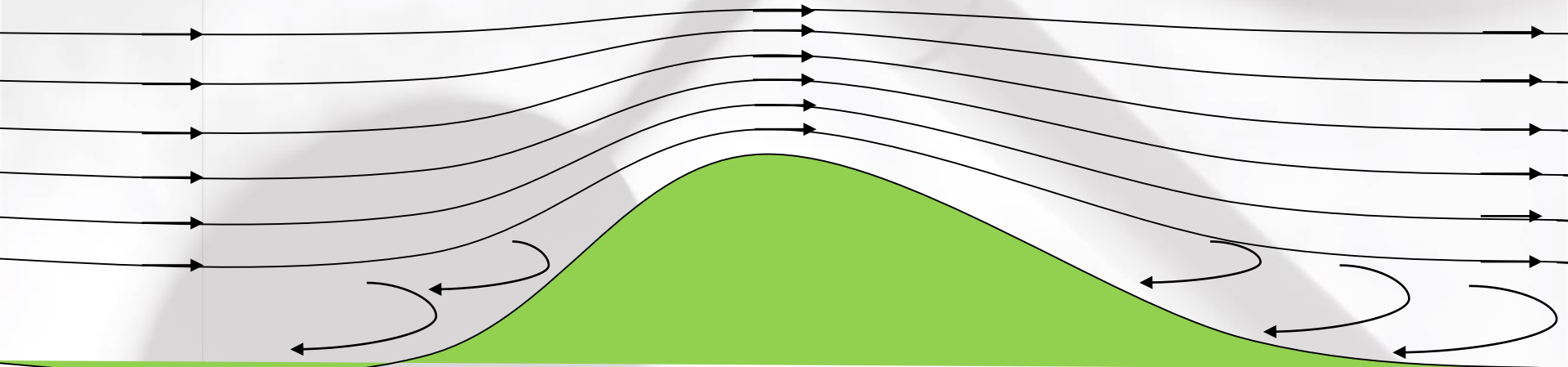
mierz wysoko

## Umströmung von Hindernissen

Luvstau

Beschleunigung,  
Düseneffekt,  
Leitplankeneffekt

Abschattung,  
Verwirbelung



Quelle: windhunter

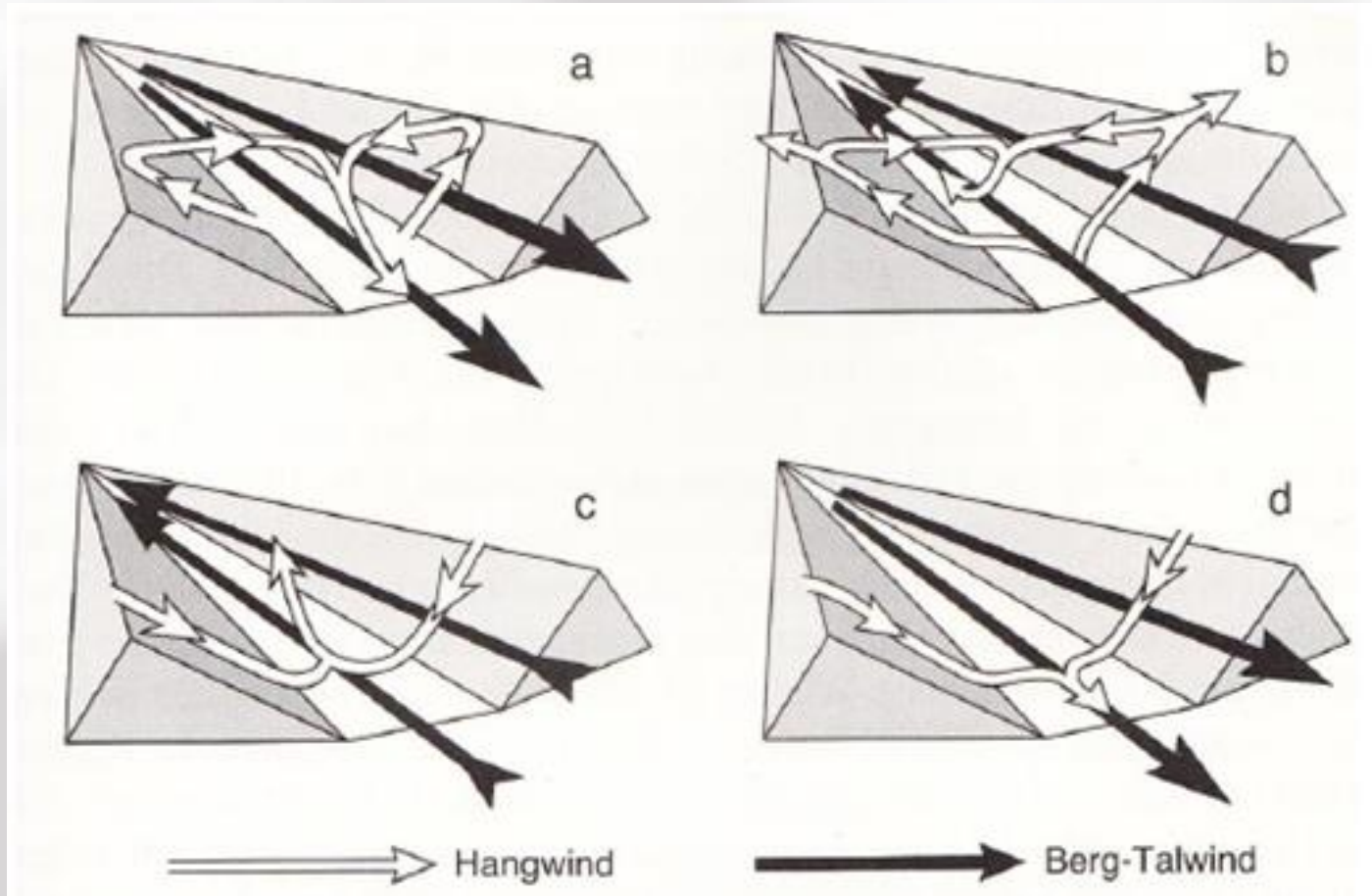




windhunter®

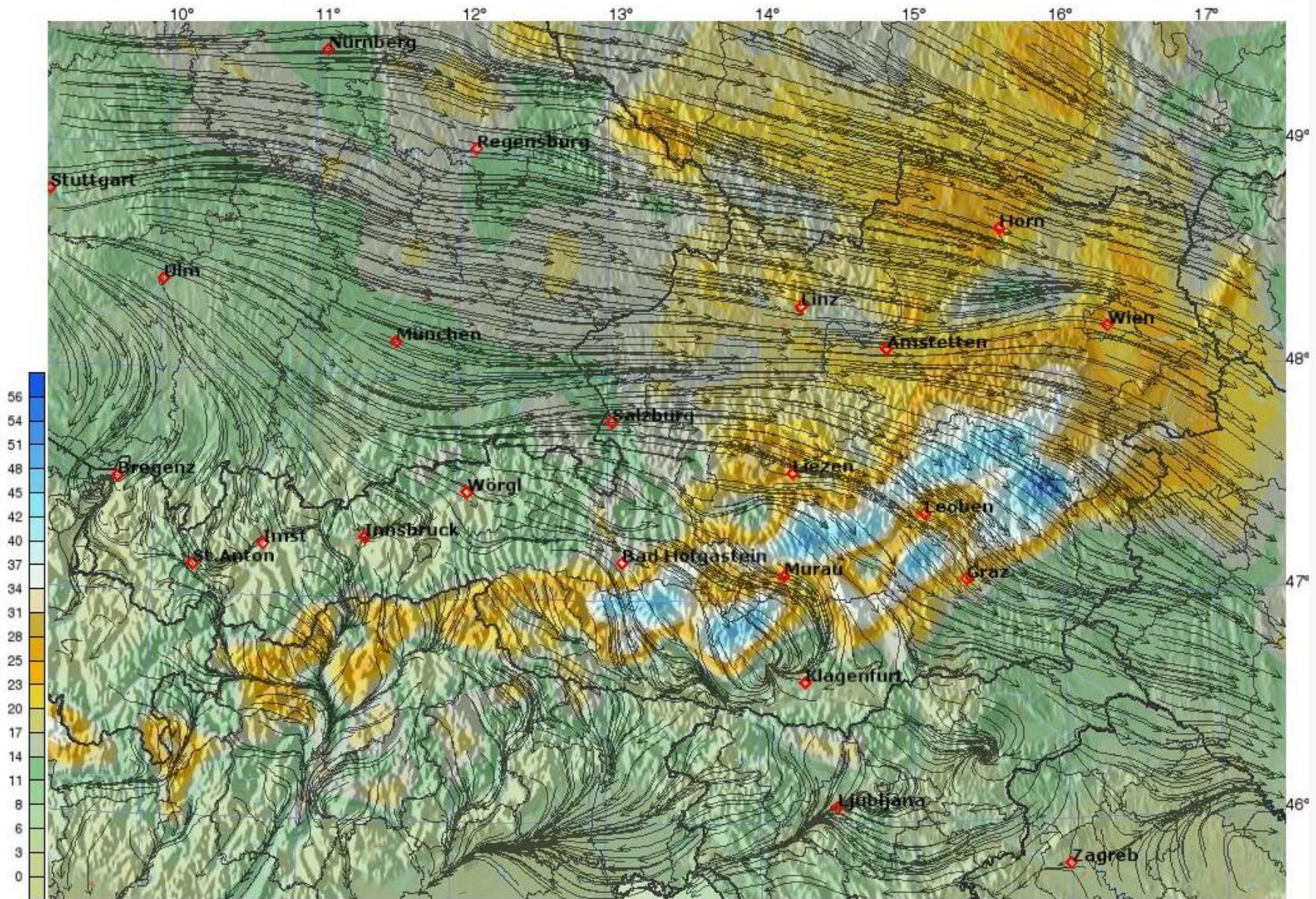
mierz wysoko

## Regionale Windsysteme



## Großräumige Hindernisse

Wind Speed (km/h) 10 m above gnd & Streamlines





windhunter®

mierz wysoko

## 5. Eis und Schnee



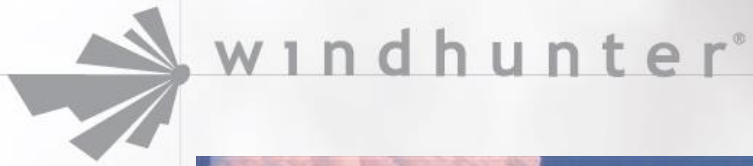


windhunter®

mierz wysoko







mierz wysoko



Quelle: windhunter





w i n d h

m i e r z   w y s o k o

## 5. Eis und Schnee



Quelle: windhunter



windhunter®

mierz wysoko

## 6. Gelände und Boden





windhunter®

mierz wysoko

## 6. Gelände und Boden



Quelle: windhunter





windhunter®

mierz wysoko

## 6. Gelände und Boden



Quelle: windhunter





windhunter®

mierz wysoko



Quelle: windhunter





windhunter®

mierz wysoko

## 6. Gelände und Boden



Quelle: windhunter





windhunter®

mierz wysoko



Quelle: windhunter



# 6. Gelände und Boden



windhunter®

mierz wysoko



Quelle: windhunter



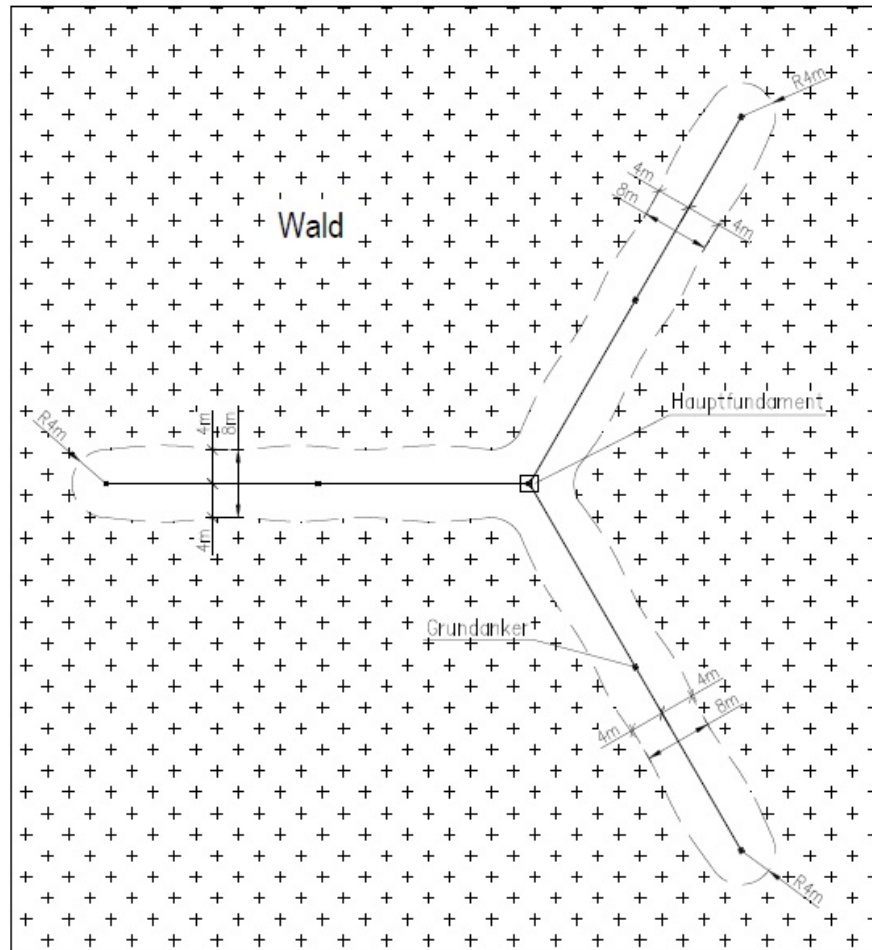


w i n d

mierz wysoko

# GRUNDRISS DER ABSPANNUNGEN MAST IM WALD

Die um die Abspannseile markierte Fläche muss frei bleiben. In dem markierten Bereich muss gerodet werden.



## 6. Gelände und Boden



Das dargestellte Messmast-Projekt ist geistiges Eigentum der windhunter Gruppe. Alle Rechte vorbehalten. Die Zeichnung, sowie sämtliche weitere Teile dieses Bauprojekts, dürfen ohne schriftliche Erlaubnis von windhunter weder kopiert, weiter geleitet, hoch- in anderweitiger Form verwendet werden. [www.windhunter.com](http://www.windhunter.com)

	WINDMESSMAST	
	WHTER	
Betreff:	MAST IM WALD	
DATUM:	NOVEMBER 2012	SKALA: 1:600 ZEICHNUNG NR.: 1

Quelle: windhunter





## Fazit Messtechnik:

- Messtechnik sorgfältig auswählen nach Anforderungen und Standortbedingungen
- Für Ertragsgutachten: Messmast oder Kombination Mast/Lidar
- In großen Höhen: beheizbare Sensoren, Leistungsstärkere Energieversorgung, verstärkter Messmast
- Sorgfältige Wahl des Messstandortes: repräsentativ für die geplanten Turbinenstandorte
- Fernerkundung: Standortoptimierung durch CFD kann helfen systembedingte Messfehler zu verringern





## Fazit Bau und Logistik:

- Sorgfältige Standortbesichtigung: Gelände, Boden, Zuwegung
- Passenden Messmast auswählen (Eislast, Ankerradius, Verankerung)
- Logistik sorgfältig planen: passende Fahrzeuge bereitstellen (ggf. Allrad, Geländegängige Fahrzeuge)
- Zugang auch bei Eis und Schnee sicherstellen (z.B. für Wartung und Service)





windhunter®

mierz wysoko

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**





windhunter®

mierz wysoko

## Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie Ihren Gutachter oder Mastbauer!

**Johannes Lange**

Büro DE: +49 30 39 800 939

Mobil: +49 171 860 9799

jl@windhunter.com

**windhunter group**

[www.windhunter.com](http://www.windhunter.com)

