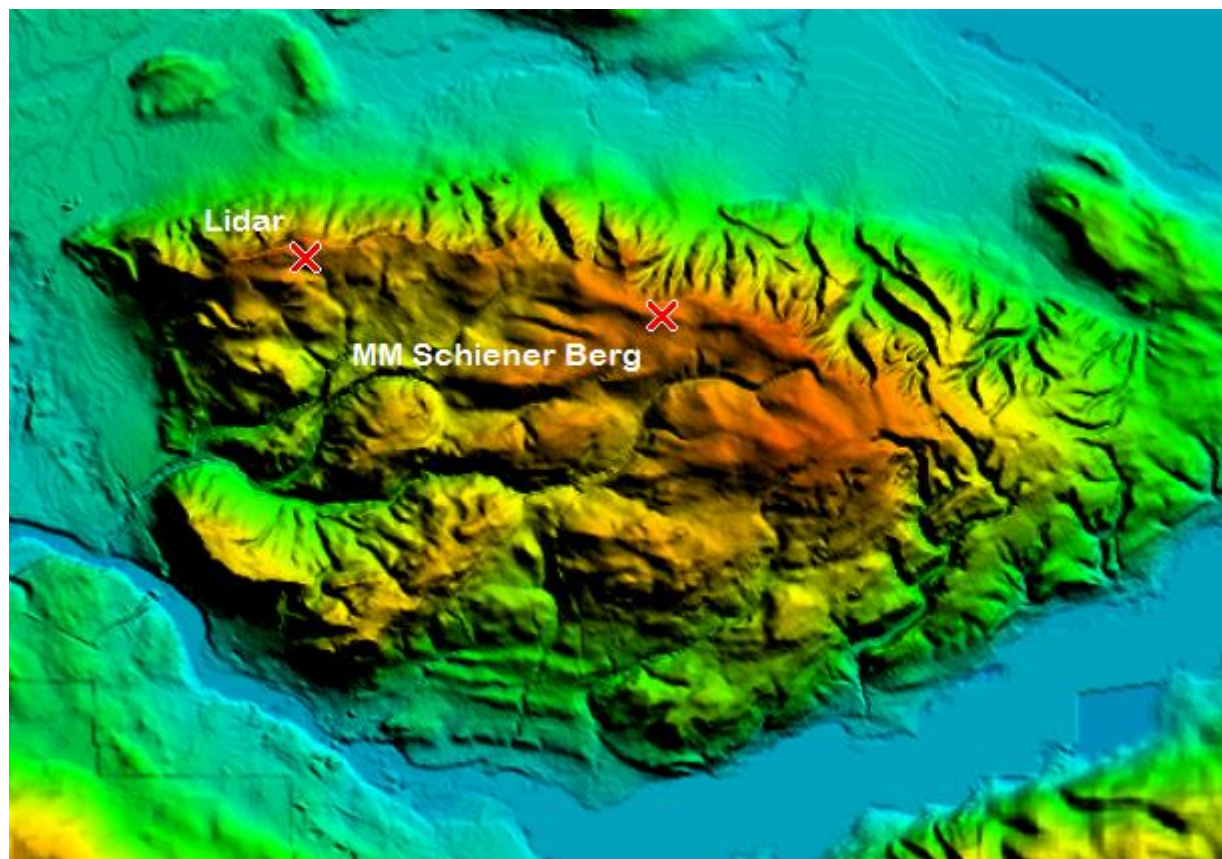




Windenergie Chroobach

Begleitgruppen-
sitzung

28. Mai 2016



Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH

Beliehene gemäß § 8 Absatz 1 AkkStelleG i.V.m. § 1 Absatz 1 AkkStelleGBV
Unterzeichnerin der Multilateralen Abkommen
von EA, ILAC und IAF zur gegenseitigen Anerkennung

Akkreditierung



Die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH bestätigt hiermit, dass die

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Westendstraße 199, 80686 München

für ihr Prüflaboratorium

Abteilung Wind Cert Services
Ludwig-Eckert-Straße 10, 93049 Regensburg

die Kompetenz nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 besitzt, Prüfungen in folgenden Bereichen durchzuführen:

Messungen des Windpotentials mittels meteorologischen Messeinrichtungen;
Ermittlung des Windpotentials und Bestimmung des Energieertrages;
50%-Referenzertrag-Nachweis gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG);
Bestimmung der natürlichen Umgebungs-Turbulenz, der charakteristischen und effektiven Turbulenz;
Bestimmung der Extremwinde;
Berechnung der Schattenwurfimmission;
Berechnung der Schallimmission

Die Akkreditierungsurkunde gilt nur in Verbindung mit dem Bescheid vom 23.04.2010 mit der Akkreditierungsnummer D-PL-14153-02 und ist gültig bis 17.04.2015. Sie besteht aus diesem Deckblatt, der Rückseite des Deckblatts und der folgenden Anlage mit insgesamt 5 Seiten.

Registrierungsnummer der Urkunde: D-PL-14153-02-05

Berlin, 23.04.2010

Bitte Hinweisen auf der Rückseite


Thorbert Barz
Geschäftsführer



Akkreditiertes Prüflaboratorium gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2005

- WINDGUTAHTEN & WINDATLANTEN
- WINDMESSUNGEN
- TURBULENZ- & EXTREMWINDGUTACHTEN
- SCHALL- & SCHATTENWURFGUTACHTEN
- MESSUNG DER SCHALLIMMISSION (BImSchG)
- MESSUNG DER LEISTUNGSKURVEN
- BELASTUNGSMESSUNG

- EISWURFGUTACHTEN
- LEISTUNGSKENNLINIENVERMESSUNG
- WIEDERKEHRENDE PRÜFUNGEN
- TECHNISCHE DUE DILLIGENCE
- GIS - ANALYSEN
- ...



Teil 6

Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen

**Windenergieanlagen –
Teil 12-1: Messung des Leistungsverhaltens einer Windenergieanlage
(IEC 61400-12-1:2005);
Deutsche Fassung EN 61400-12-1:2006**

DIN EN 61400-12-1 (VDE 0127-12-1)	DIN
Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE



I Windgutachten /-prognose

II Windmessungen (→ Meteo-Input)

a *MM Schiener Berg*

b *Lidar Chroobach*

c *Erstellung Windstatistik*

d *Langzeitbezug*

III Unsicherheiten

I. Windgutachten - generell



Industrie Service

Topographie

Meteorologie
(Meteo)

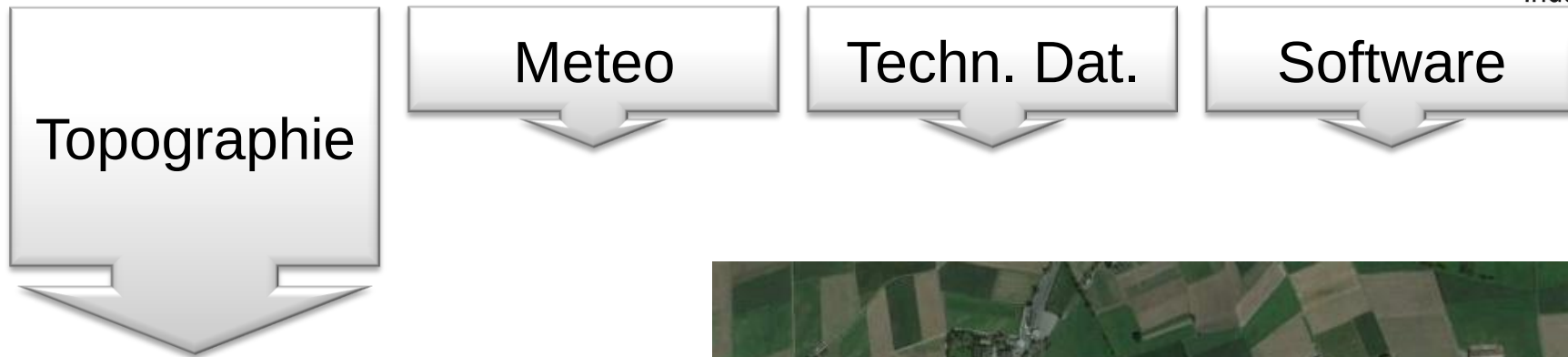
Technische
Daten

Software

I. Eingangsdaten: Topographie



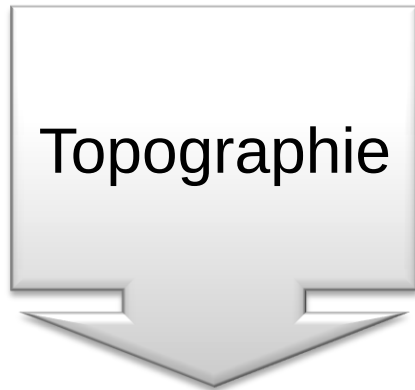
Industrie Service



- Topografische Kartenblätter
- Satellitendaten
- Luftbildaufnahmen
- **Landnutzung**sdaten
- **Höhen**modell
- Standortbegehung



I. Eingangsdaten: Orografie

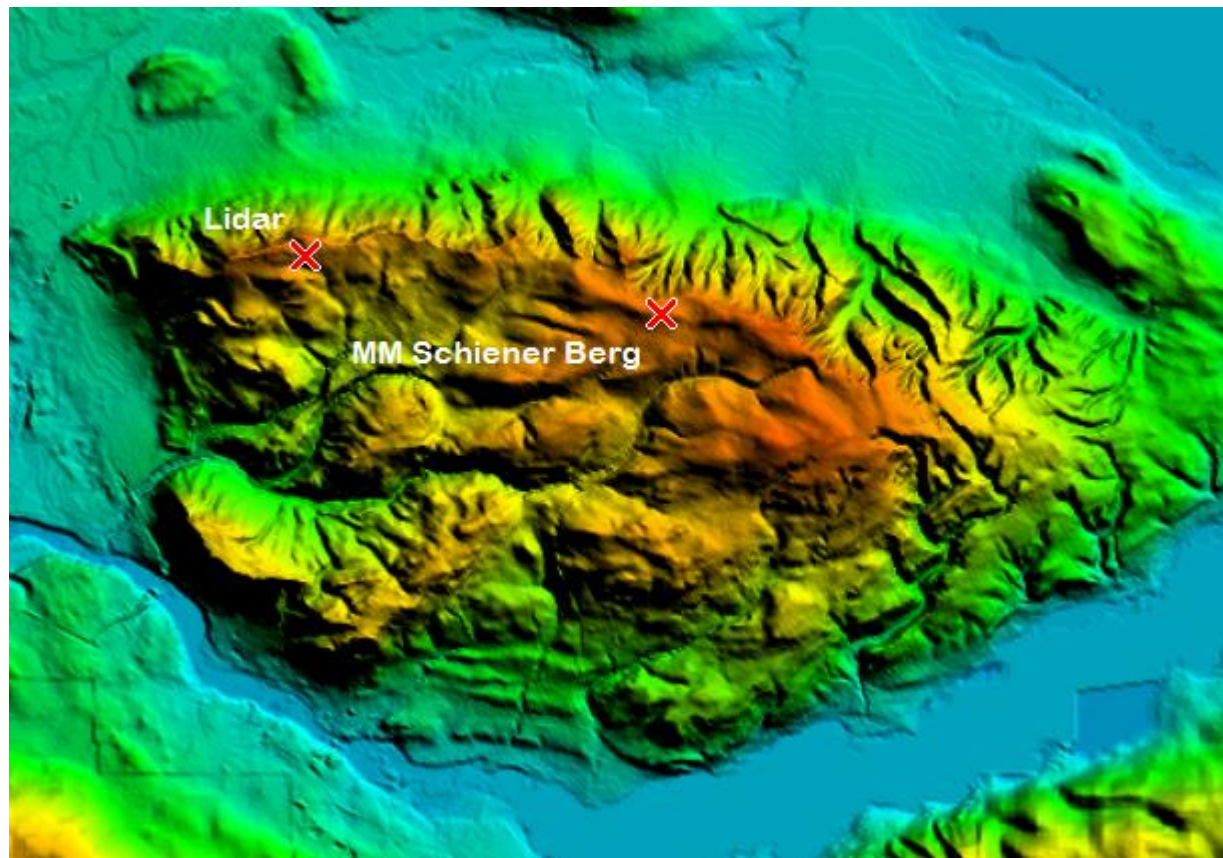


Meteo

Techn. Dat.

Software

- Topografische Kartenblätter
- Satellitendaten
- Luftbildaufnahmen
- **Landnutzung**sdaten
- **Höhen**modell
- Standortbegehung



I. Eingangsdaten: Meteorologische Daten

Topographie

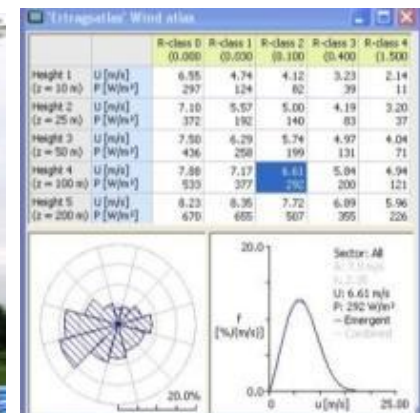
Meteo

Techn. Dat.

Software



- **Windmessung**
 - **Messmast**
 - **Lidar**
 - (Sodar)
- Meteorologien
Wetterdienste
- SCADA-Daten
(Gondelanemometer)
- Reanalyse-Daten



I. Eingangsdaten: Technische Daten WEA



Industrie Service

Topographie

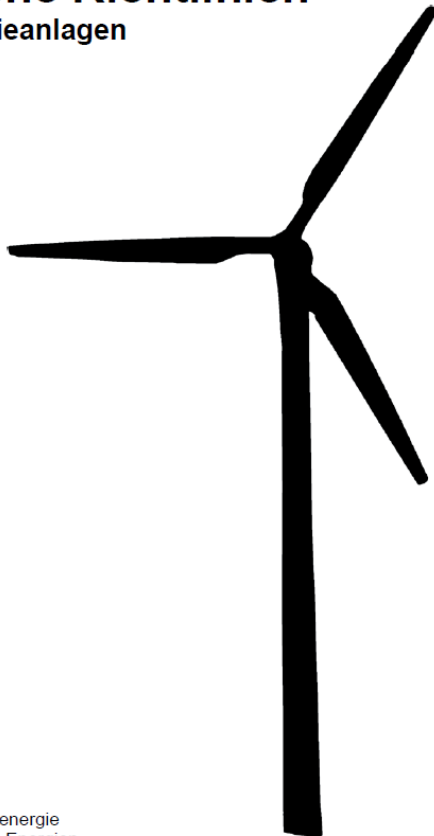
Meteo

Techn. Dat.

Software

Technische Richtlinien für Windenergieanlagen

Teil 2:
Bestimmung von
Leistungskurve und
standardisierten
Energieerträgen

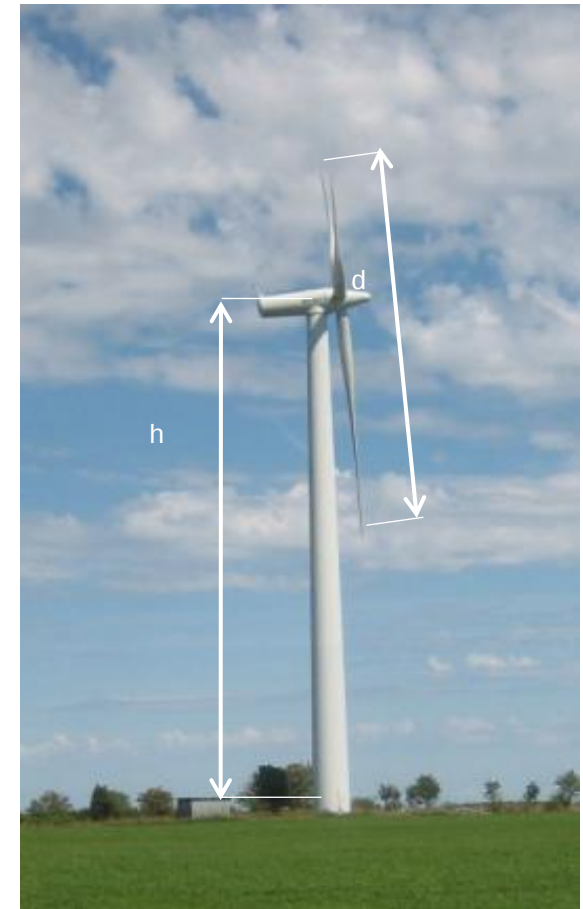


Revision 16
Stand 28.01.2010



Herausgeber:
FGW e.V.-
Fördergesellschaft Windenergie
und andere Erneuerbare Energien

- Typ, Nabenhöhe, Rotordurchmesser
- Leistungskennlinie
- Schubbeiwertkennlinie



I. Eingangsdaten: Technische Daten WEA



Industrie Service

Topographie

Meteo

Techn. Dat.

Software

Datenblatt
Betriebsmodi E-115 / 3000 kW mit TES

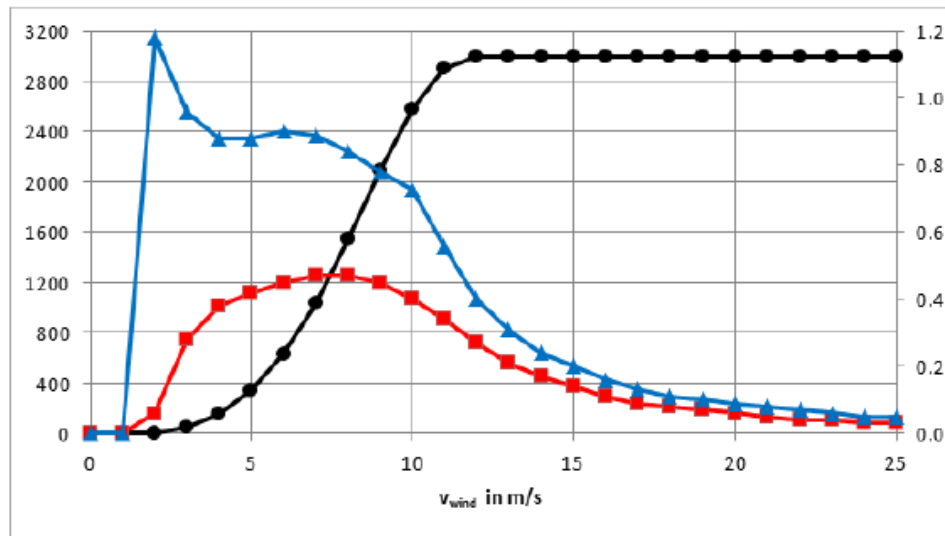
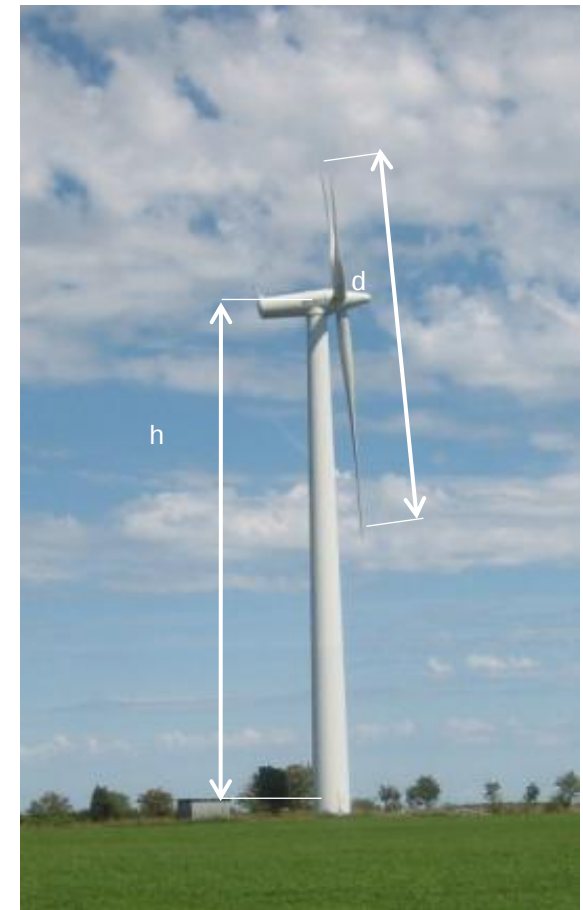
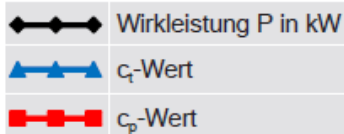
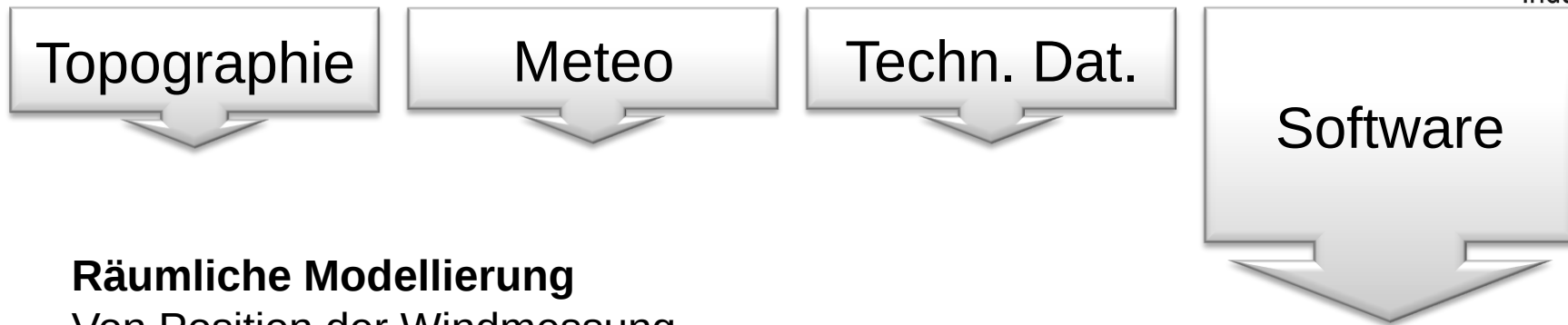


Abb. 1: Leistungskennlinie Betriebsmodus 0 s

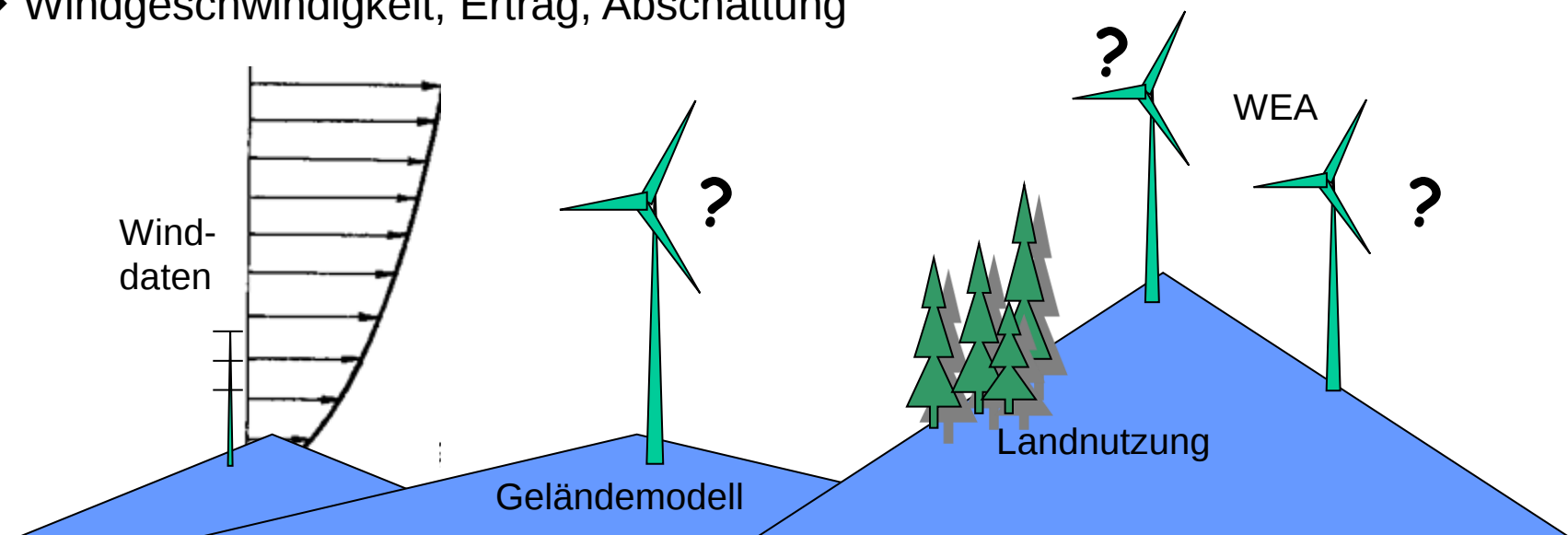




Räumliche Modellierung

Von Position der Windmessung
zu Position und Höhe der WEA

→ Windgeschwindigkeit, Ertrag, Abschattung



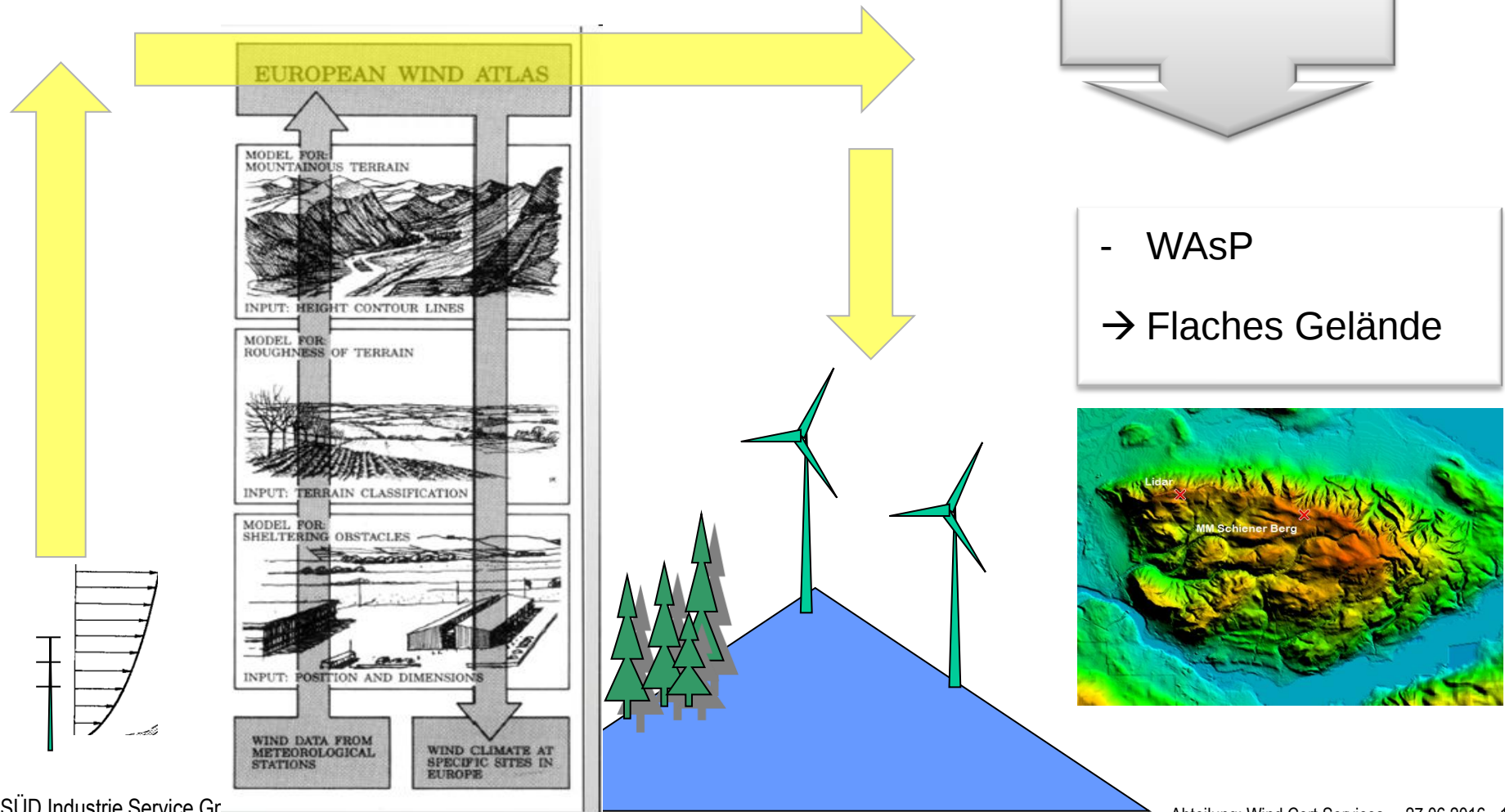
I. Modellierung / Software (WAsP)

Topographie

Meteo

Techn. Dat.

Software



I. Modellierung / Software (Windsim)



Industrie Service

Topographie

Meteo

Techn. Dat.

Software

Modellgitter

- 3D- Software erforderlich
- **Windsim**
- Ansys
- Meteodyn

Berechnung für
alle Gitterpunkte
Gekoppelt und
iterativ

I. Modellgebiet Windsim, Chroobach



Industrie Service

Topographie

Meteo

Techn. Dat.

Software

Feinmodell:
Ertrags-
modellierung

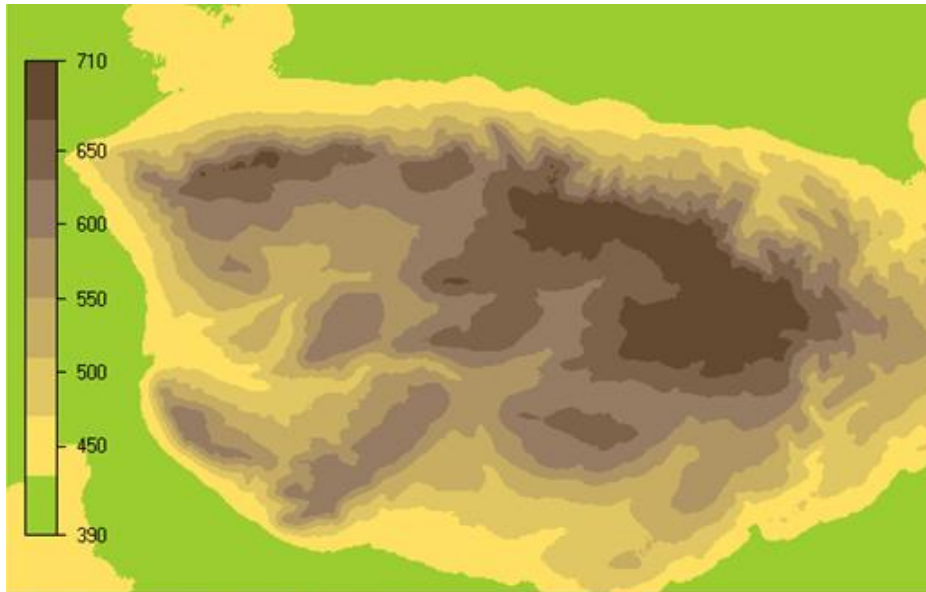


Fig 1. Digital terrain model - Elevation (m).

Grobmodell: Randbedingungen

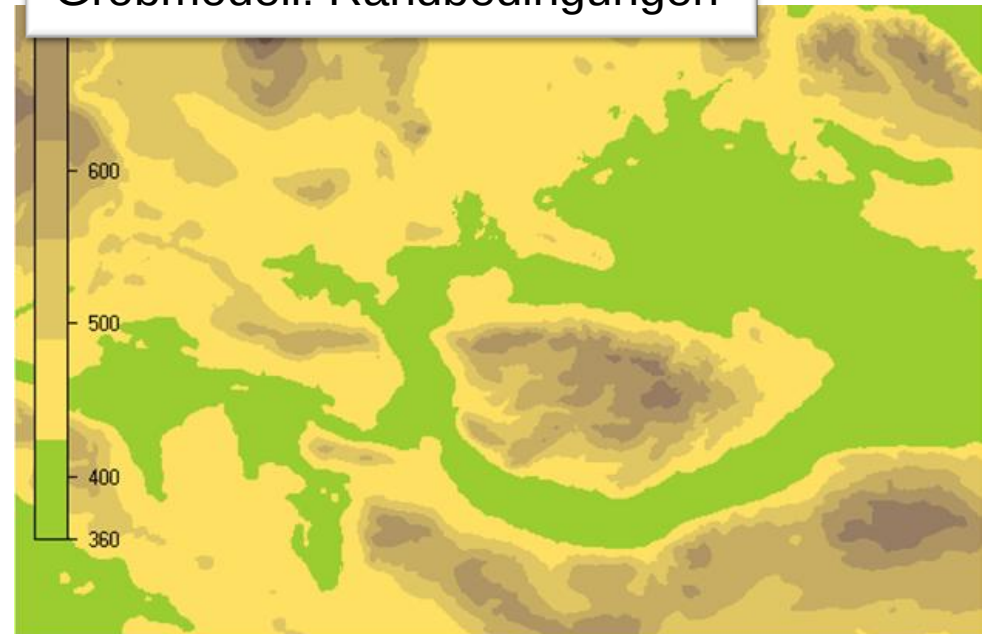


Fig 1. Digital terrain model - Elevation (m).

I. Konvergenz in Windsim, Chroobach



Industrie Service

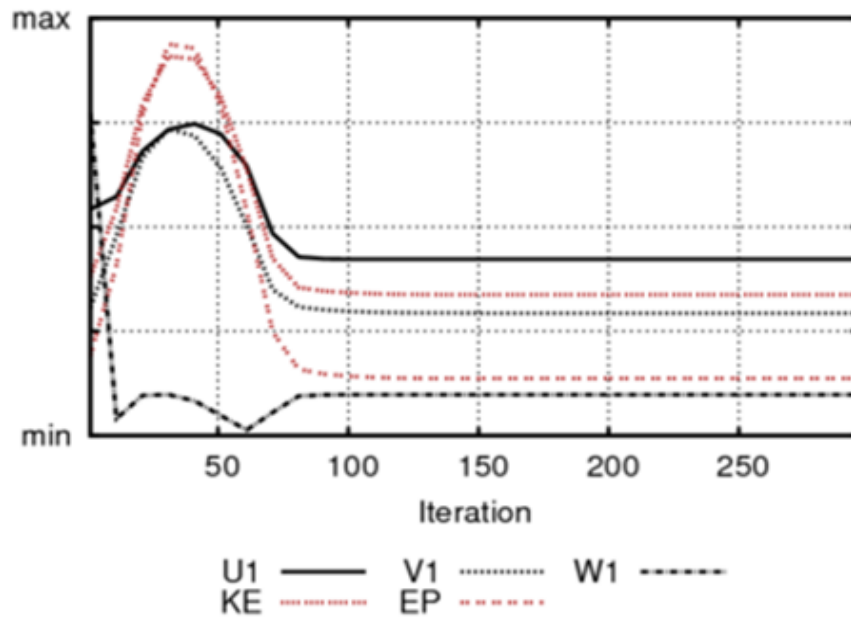
Topographie

Meteo

Techn. Dat.

Software

► Sector: 210 °



I. Software Windsim



Industrie Service

Topographie

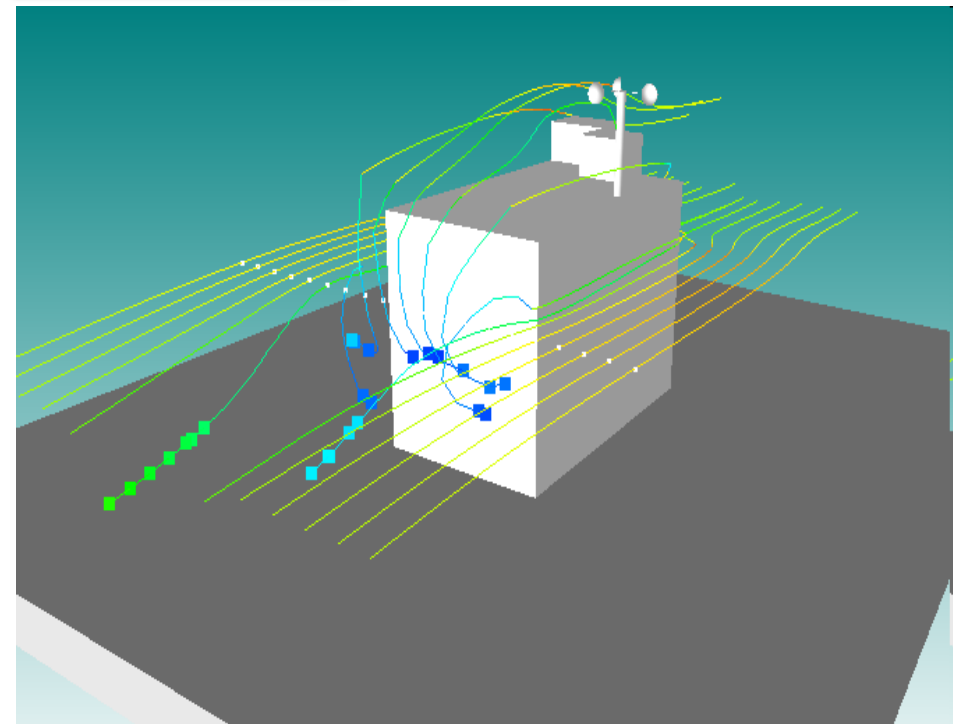
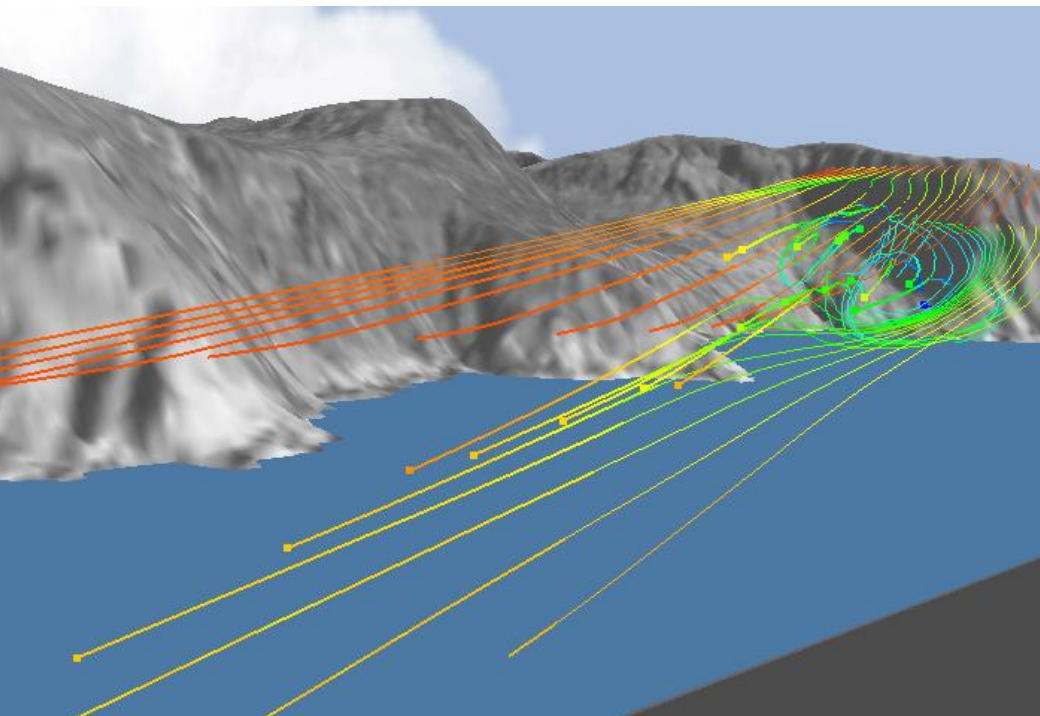
Meteo

Techn. Dat.

Software

Rezirkulation

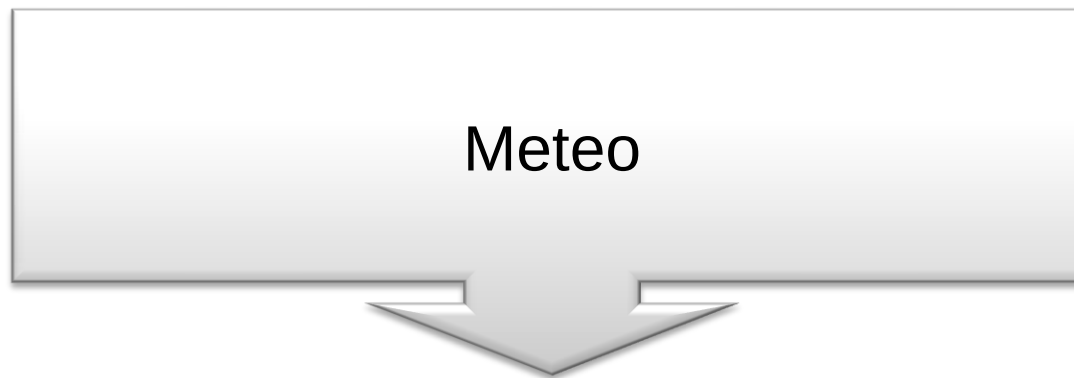
Umströmung



II. Windmessungen: Meteorologische Daten



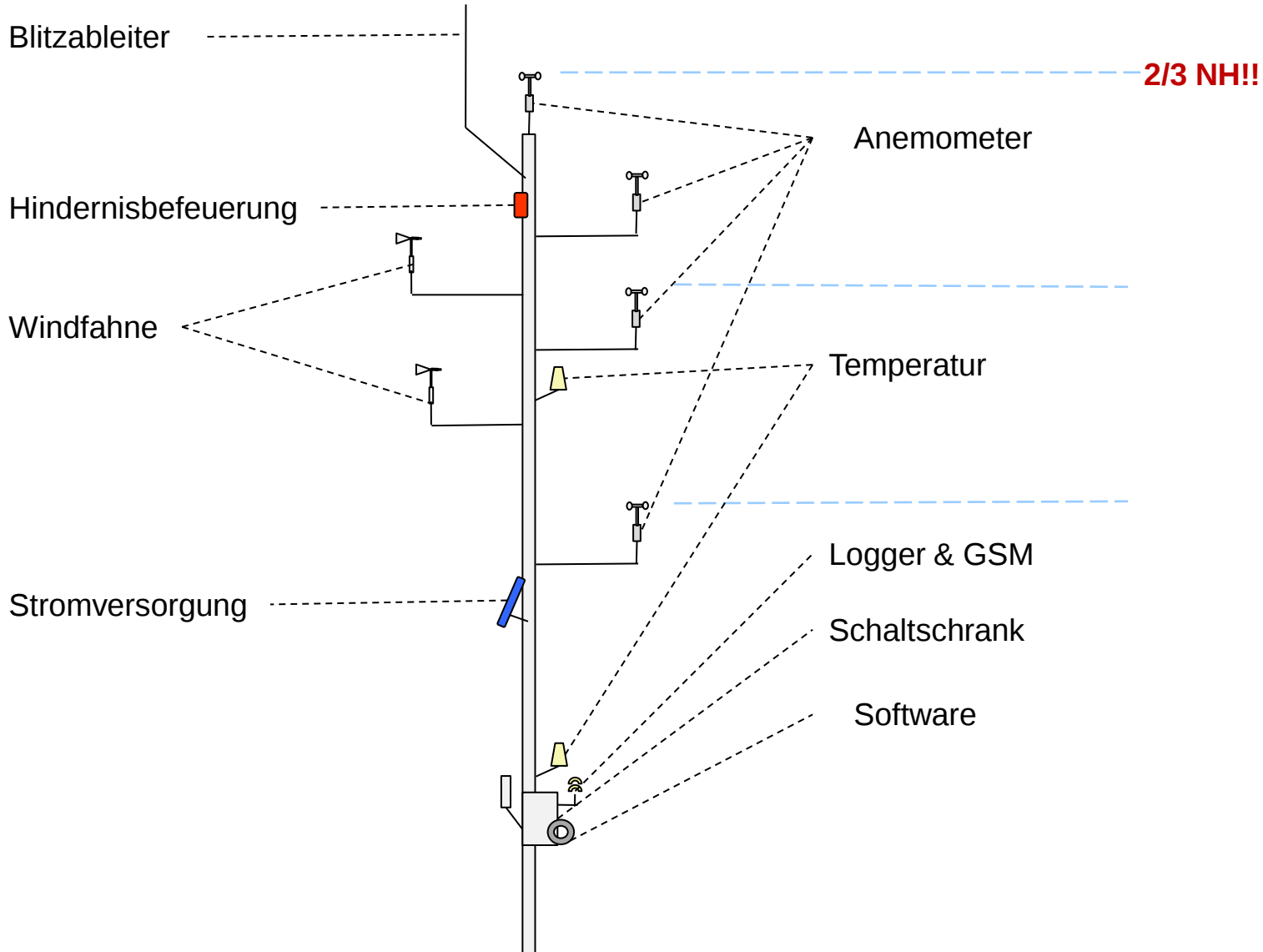
Industrie Service



II. a Windmessungen (IEC 61400-12-1)



Industrie Service



Montierte Sensoren / Datenlogger / Andere Anbauten

4 x Thies Anemometer "First class advanced"

2 x Thies Windfahne "First class"

1 x Temperatur/Feuchtesensor „P6312“, Galltec,
1 x Temp.sensor

1 x AB 60 (Luftdrucksensor)

1 x Meteo-40 (Datenlogger)

II. a Windmessung: Anemometer



Industrie Service

Ermittlung von:

- Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit
- Jahresertrag
- Windprofil (Nabenhöhe)
- Turbulenz, Windscherung & Extremwind

- Einheit: m/s
- Auflösung: mind. 0.1 m/s
- Mindeststandart: Anemometer Klasse 1
- Kalibrierung: Zwingend notwendig
- Qualitätsstandards: IEC 61400-12 Abschnitt 6.2
IEA: Recommendations
MEASNET



Thies Clima



Risø



Vector

II a Anemometer: Thies First Class Adv.



Industrie Service

Thies Anemometer First Class Advanced

Bestell.-Nr.: P 6101H - heizbar

Windgeber zur Standortbewertung und Messung
der Leistungskennlinien von Windenergieanlagen.

Zertifiziert nach IEC 61400-12- [2005-12],
Klasse A 0,9, B 3,0 und S 0,5,
ISO 17713-1, Measnet, Classcup

- Hochgenaues Anemometer Klasse 0.5
- Optimiertes dynamisches Verhalten
auch bei hoher Turbulenzintensität
- Minimales Overspeeding
- Optimale Linearität $r > 0,99999$
- Niedriger Anlaufwert
- Hohe Überlebensgeschwindigkeit
- Exzellentes Preis-Leistungs-Verhältnis
- Patentiertes Design
EP 1 489 427, DE 103 27 632, EP 1 398 637



Thies Windfahne First Class

Bestell.-Nr: P 6200H - beheizbar

Der Windrichtungssensor dient zur Erfassung der horizontalen Windrichtung in der Meteorologie und Umweltmesstechnik.

- Hohe Messgenauigkeit und Auflösung
- Hohe Dämpfung bei kleiner Entfernungskonstante
- Niedriger Anlaufwert
- Hysteresese- und verschleißfreie Magnetkupplung zwischen Fahnen und Potentiometerachse
- Elektronische Schutzschaltung zur Strombegrenzung und gegen Falschanschluss
- Einfachste Demontage und Montage bei Lagerwechsel



II a Sensorik: Kalibrierung



Industrie Service

Deutsche WindGuard
Wind Tunnel Services GmbH, Varel



akkreditiert durch die / *accredited by the*

Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH

als Kalibrierlaboratorium im / *as calibration laboratory in the*



Deutschen Kalibrierdienst



Kalibrierschein
Calibration certificate

Calibration mark

1330718

**D-K-
15140-01-00**

03/2013

Gegenstand
Object

Cup Anemometer

Hersteller
Manufacturer

Thies Clima
D-37083 Göttingen

Typ
Type

4.3351.10.000

Fabrikat/Serien-Nr.
Serial number

03132851

Auftraggeber
Customer

TÜV SÜD Ind. Serv. GmbH
93049 Regensburg

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführung auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).

Die DAkkS ist Unterzeichner der multilateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine. Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.

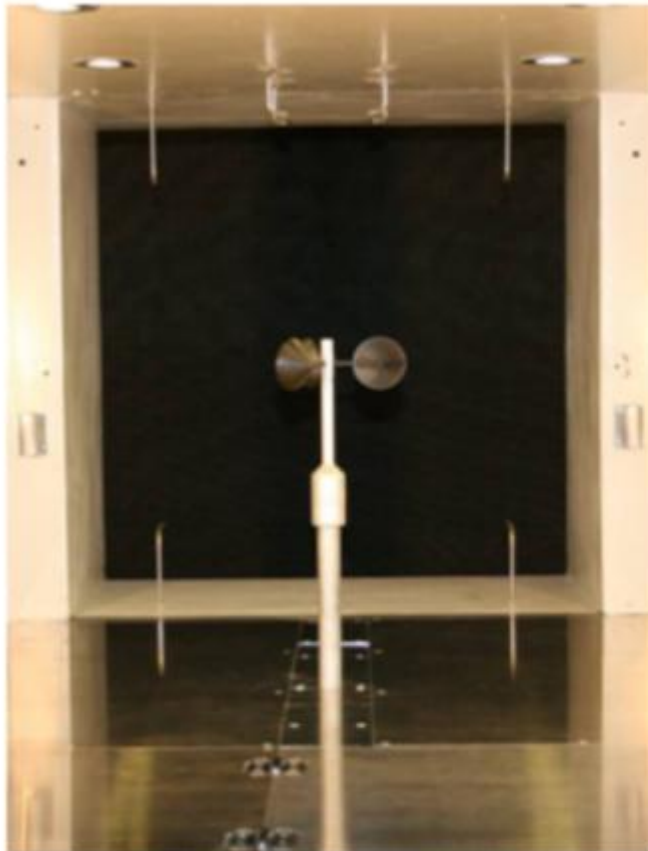
This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the

II a Kalibrierung: Windtunnel



Industrie Service

3 Photo of the calibration set-up



Calibration set-up of the anemometer calibration in the wind tunnel of Deutsche WindGuard, Varel. The anemometer shown may differ from the calibrated one. Remark: The proportion of the set-up is not true to scale due to imaging geometry.

1 Detailed Calibration Results

DKD calibration no.	1330716
Serial no. 1	03132853
Serial no. 2	
Date	15.03.2013
Air temperature	19.0 °C
Air pressure	1014.4 hPa
Humidity	29.7 %



Linear regression analysis

Slope	$0.04591 \text{ (m/s)/(1/s)} \pm 0.00004 \text{ (m/s)/(1/s)}$
Offset	$0.2293 \text{ m/s} \pm 0.009 \text{ m/s}$
St.err(Y)	0.007 m/s
Correlation coefficient	0.999996

Remarks no

1 Detailed Calibration Results

DKD calibration no.	1330716
Serial no. 1	03132853
Serial no. 2	
Date	15.03.2013
Air temperature	19.0 °C
Air pressure	1014.4 hPa
Humidity	29.7 %



Linear regression analysis

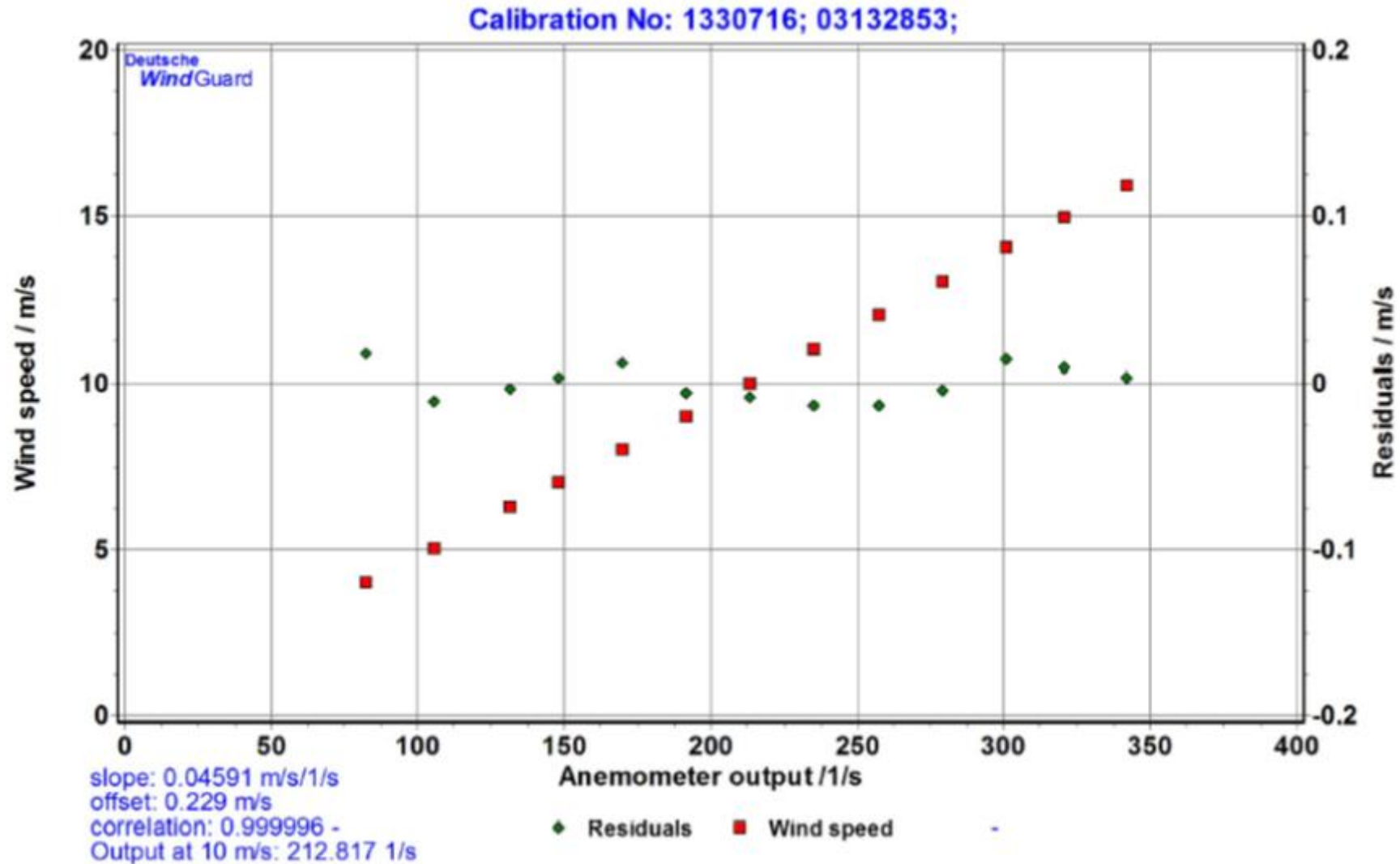
Slope	$0.04591 \text{ (m/s)/(1/s)} \pm 0.00004 \text{ (m/s)/(1/s)}$
Offset	$0.2293 \text{ m/s} \pm 0.009 \text{ m/s}$
St.err(Y)	0.007 m/s
Correlation coefficient	0.999996

Remarks	no
---------	----

II a Kalibr. Abweichung & Korrelation (Grafik)



Industrie Service



II a Praxis; Verkabelung



Industrie Service



TÜV SÜD Industrie Service GmbH



II a Anemometer Schiener Berg



Industrie Service

Anforderungen nach der Akkreditierung DIN ISO 17025	Anforderung erfüllt:
Kalibrierte Anemometer	●
Zuordnung der Sensoren (Messhöhe, Seriennummer bzw. Kalibrierzertifikat)	●
Abnahme der Messhöhen, Abmessungen des Mastes und der Ausleger	●

Ausleger-Anemometer II – Allgemeine Informationen zum Ausleger und Konformität

Höhe	98m
Montage des Anemometers	Ausleger montiert
Ausrichtung	170°
Horizontale Länge	2.45 m
Horizontaler Durchmesser	40 mm
Vertikale Rohrlänge	0.60 m
Vertikaler Rohrdurchmesser	34 mm
Abstand zum Topanemometer	2.0 m

Der Auslegertyp ist geeignet für die Windenergienutzung.

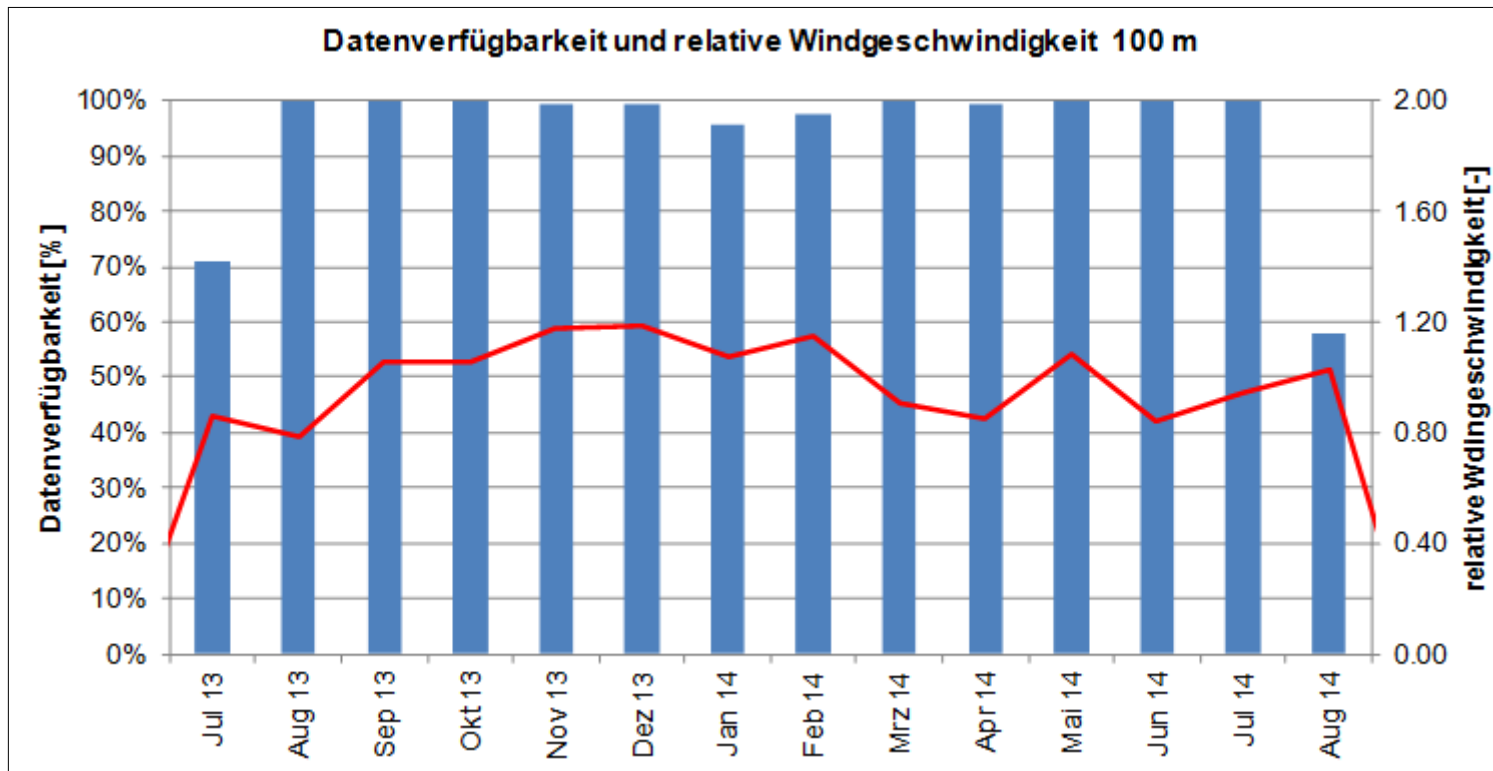
Konformität zu den Richtlinien vollends erfüllt.

Anforderungen der IEC 61400-12-1	Anforderung erfüllt:
Anbringung Topanemometer (0.75 m unterhalb keine Störungen der Anströmung)	•
Abstände der anderen Messgeräte zum Topanemometer (mind. 1.5 m unterhalb des Topanemometers)	•
Abstand Kontrollanemometer zu Topanemometer (zw. 1.5 m und 2.5 m)	•
Befestigung der Schalenkreuzanemometer an Auslegern (Abstand Schalenkreuz zu Auslegerrohr: mind. 15-facher Ausleger-Durchmesser)	•
Befestigung der Ausleger am Mast und Auslegermaße	•
Bewertung Mast zu Top-Anemometer in einem Kegel von 1:5	•
Bewertung des cT-Wertes des Masten (Abschattung der Auslegeranemometer durch die Mastkonstruktion im Mittel < 1%)	•

II a Schiener Berg, Verfügbarkeiten, 100 m



Industrie Service



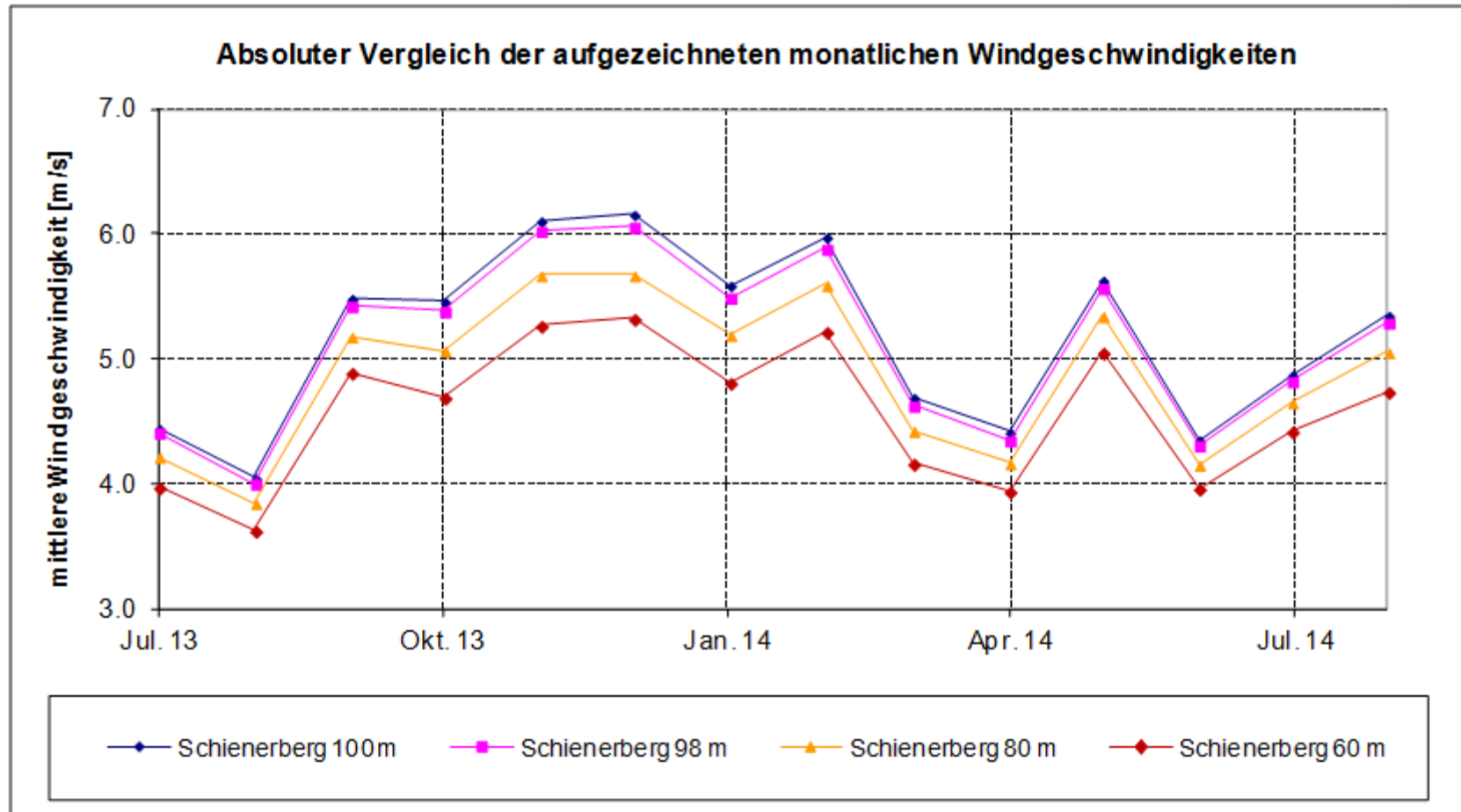
FGW
TR 6:
>80%

monatliche Datenverfügbarkeit & relative Windgeschwindigkeit
nach Datenfilterung für das Top-Anemometer auf 100 m ü. Grund.

II a Schiener Berg, Vergleich Messhöhen



Industrie Service



II a Schiener Berg: Was ist das Problem?



Industrie Service

- Im Wesentlichen: Distanz von ca. 3.5 km
- Warum?
Weil das Gelände komplex ist.

Generell:

= **L**ight **d**etection **a**nd **r**anging: ein optisches Verfahren zur Fernvermessung der Atmosphäre

Bei einer LIDAR-Messung werden Laserimpulse in die Atmosphäre abgestrahlt. Dort wird das Licht an Aerosolen gestreut und zum Teil reflektiert.

Ein Empfangsgerät nimmt diesen Anteil auf und berechnet aus Lichtlaufzeit, Lichtgeschwindigkeit und Frequenzverschiebung (Doppler-Effekt) der reflektierten Strahlung die Windgeschwindigkeit und Windrichtung in einer bestimmten Höhe.

Im Prinzip ist mittels LIDAR eine direkte Messung des Windprofils und der Windrichtung, und damit auch von Turbulenzen und Scherwinden, in beliebiger Höhe möglich. Die Genauigkeit wird mit ca. 0.2 m/s angegeben.



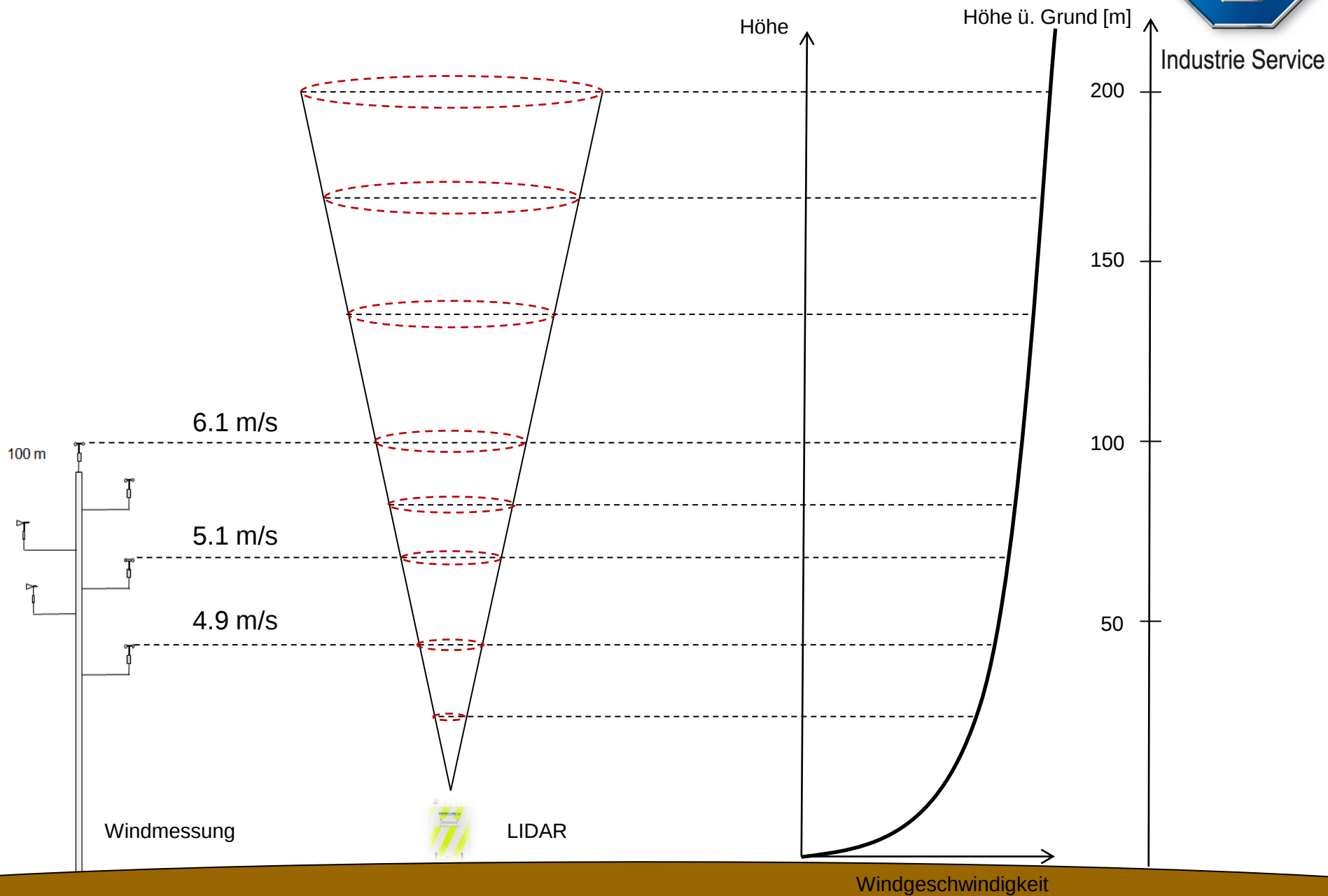
+ Vorteile:

- **kompakte** Bauweise, mit PKW transportierbar
- **keine Baugenehmigung** notwendig
- **keine Messbeeinflussung** durch Masten
- vollständige, **dreidimensionale** Abtastung eines Atmosphärenbereichs
- **sehr gute Übereinstimmung mit Mastmessung**
- **TR6- konform**, anerkannt von Banken und Investoren
- **Technik im Einsatz** durch Anlagenhersteller
- Einsatz im **Wald** möglich
- 3D-Korrekturmöglichkeiten für **komplexes Gelände**
- geringer **Strombedarf**
- Messung **hohe Höhe** über Grund

- Nachteile :

- **Messfehler** nimmt mit **Wolkenbedeckung** stark zu
- **Turbulenzen** werden unzuverlässig aufgezeichnet
- „Diebstahlanfällig“

II b Lidar, Messhöhe

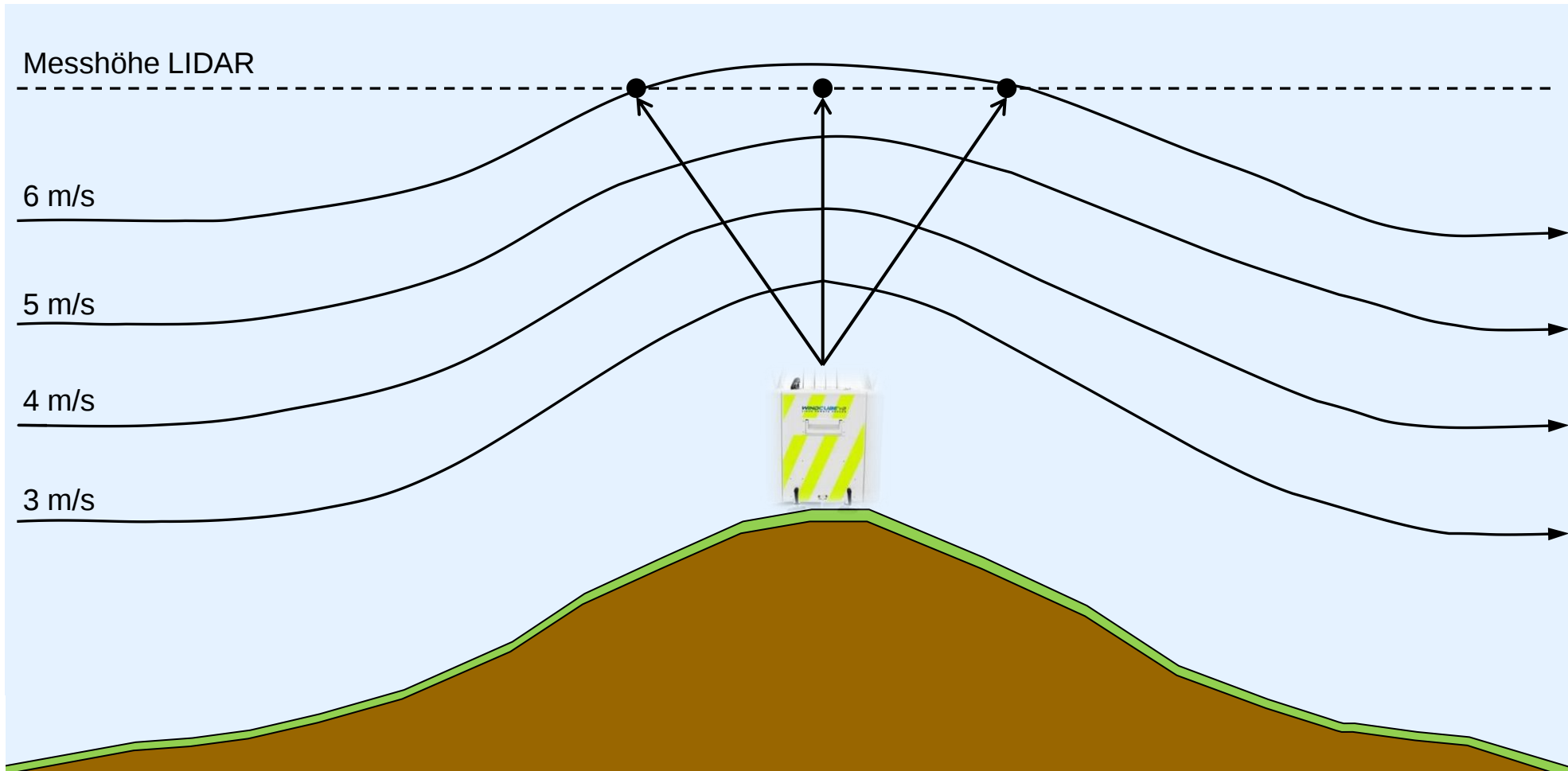


II b Lidar, komplexes Gelände



Industrie Service

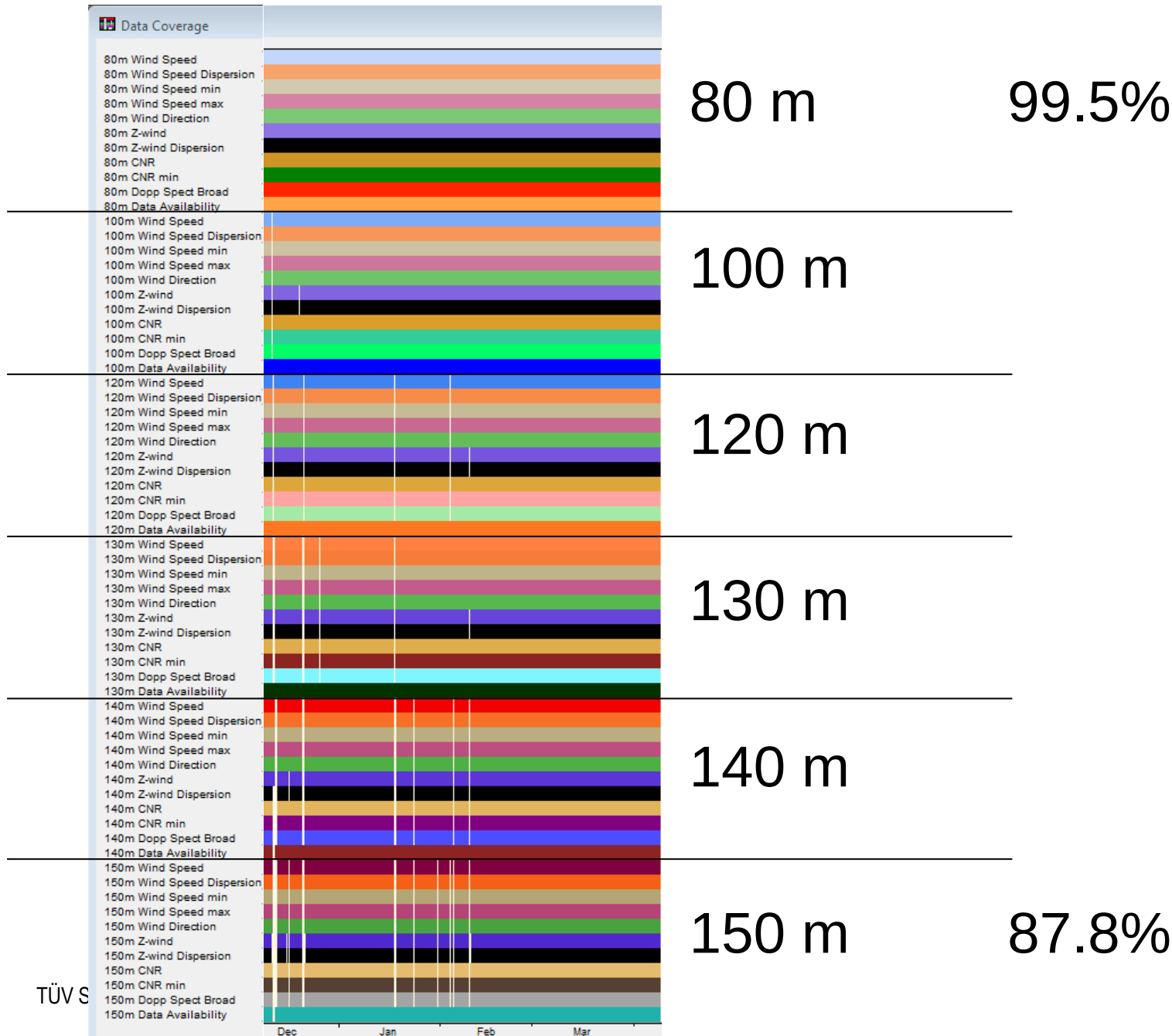
Das verwendete Lidar wurde mit der Software Flow Complexity Recognition betrieben (Korr.-Algorithmus nicht bekannt)



II b Lidar, Verfügbarkeit



Industrie Service



II b Lidar Verfügbarkeit



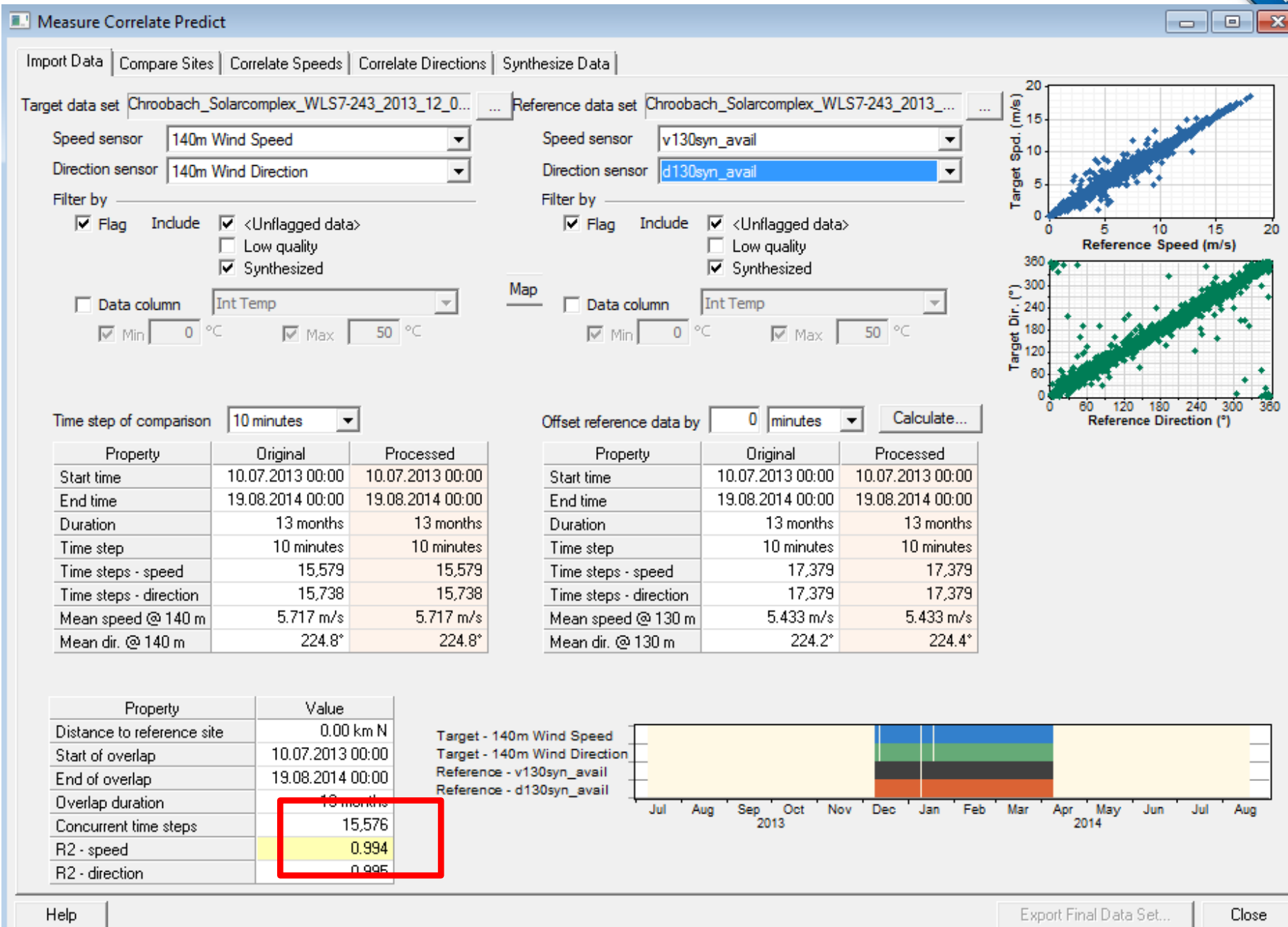
Industrie Service

Messhöhe [m]	200	140	160	150	140	130	120	100	80	60	40
Verfügbarkeit - Originaldatensatz [%]	78.0	81.5	86.1	87.8	90.5	91.2	92.9	96.9	99.7	100.0	99.7
Verfügbar. - gefilterter Datensatz [%]	76.7	81.4	86.0	87.8	89.5	91.0	92.7	96.6	99.5	99.9	99.7
Verfügb. - nach MCP mittels unterer Höhen ab 80 m [%]	<i>nicht angewandt</i>				99.6	99.6	99.6	99.5	<i>nicht angewandt</i>		
Windgeschwindigkeit - Originaldatensatz [m/s]	6.3	6.2	6.0	5.9	5.7	5.6	5.4	5.0	4.4	3.8	2.8
Windgeschwindigk. - gefilterter Datensatz [m/s]	6.4	6.2	6.0	5.9	5.7	5.6	5.4	5.0	4.4	3.8	2.8
Windges. - nach MCP mittels unterer Höhen ab 80 m [m/s]	<i>nicht angewandt</i>				5.6	5.5	5.3	4.9	<i>nicht angewandt</i>		

II b Lidar MCP



Service



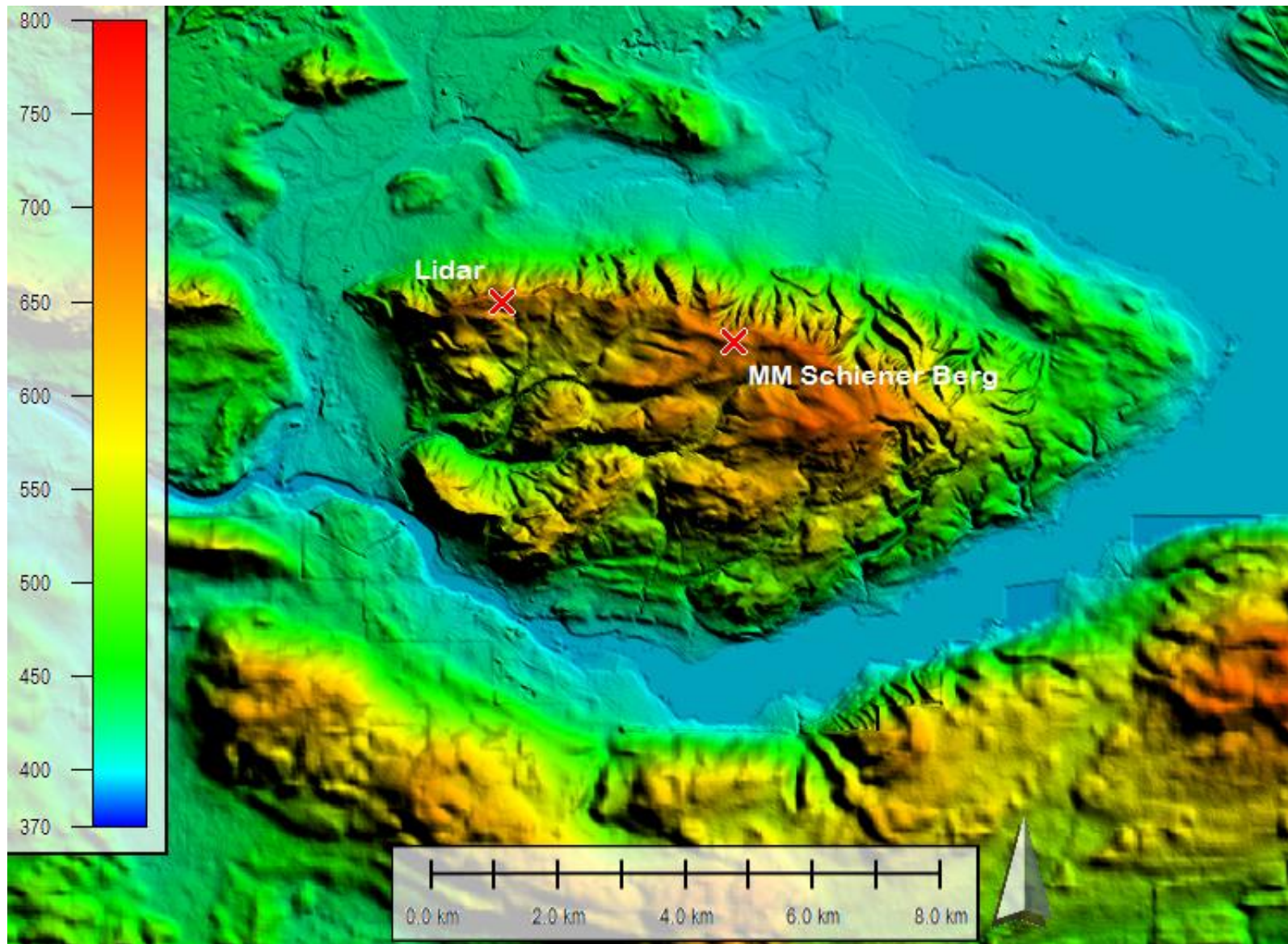
Was ist das Problem?

Im Wesentlichen die Dauer der Messung (4 Monate)

II c Erstellung Windstatistik



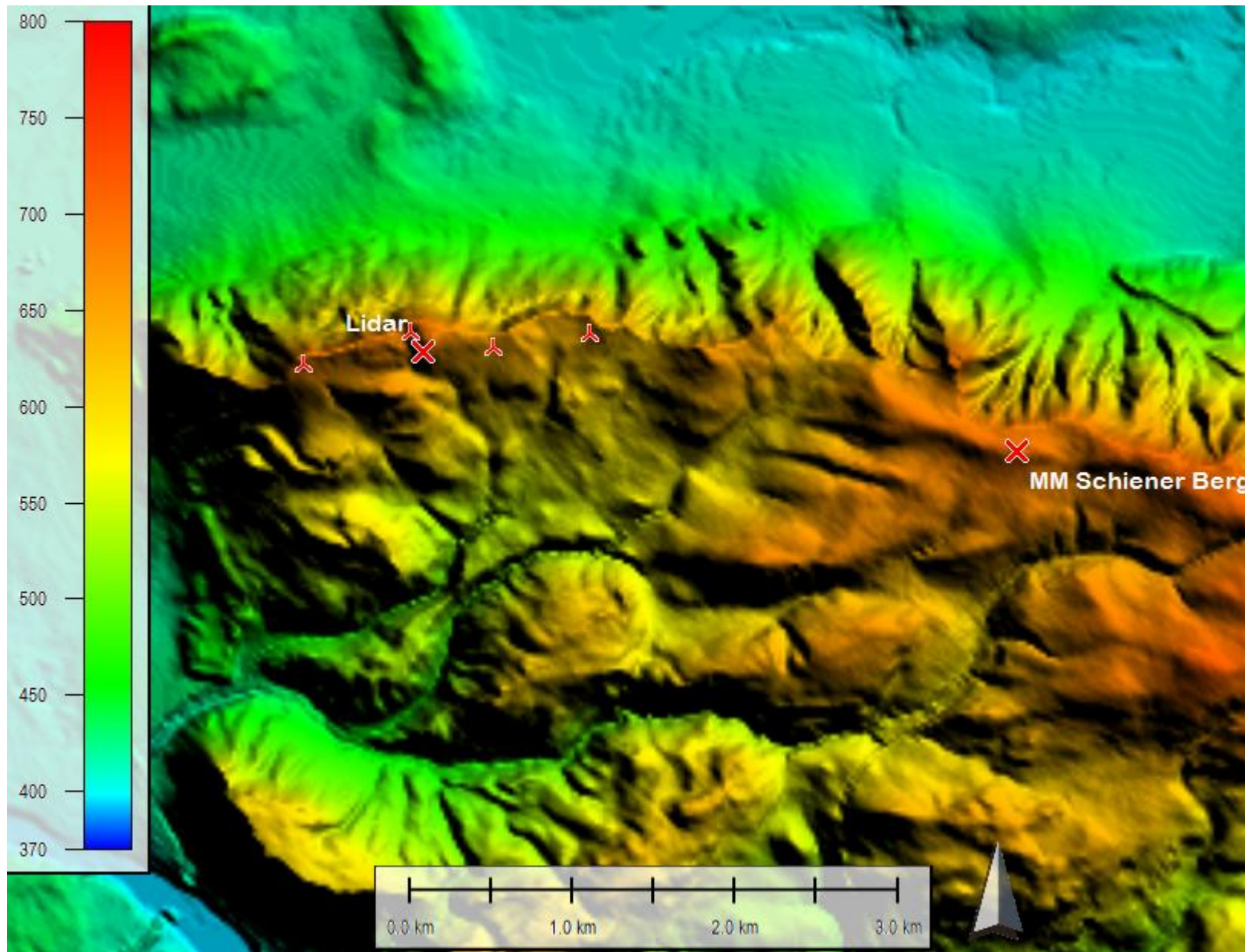
Industrie Service



II c Erstellung Windstatistik



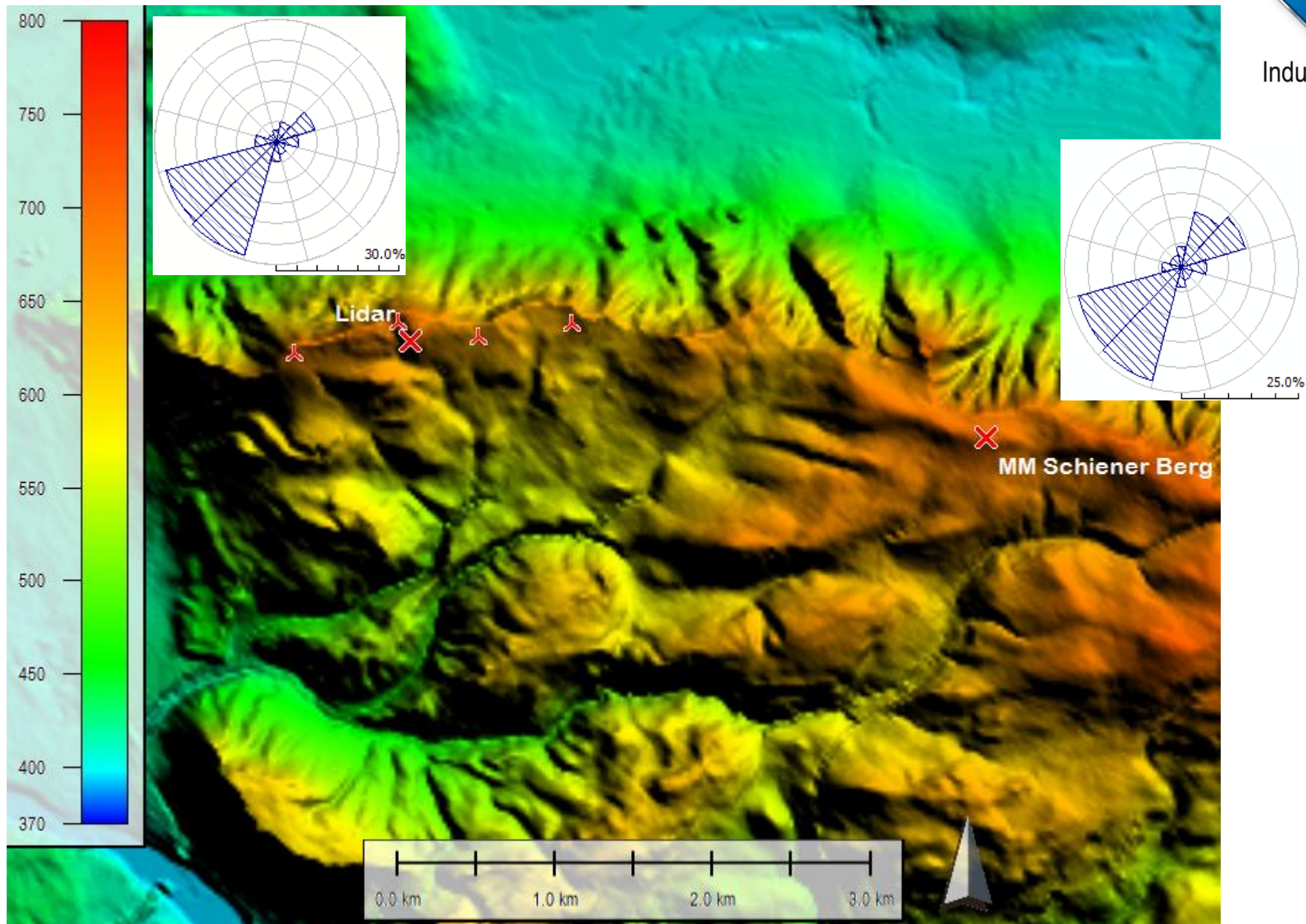
Industrie Service



II c Erstellung Windstatistik



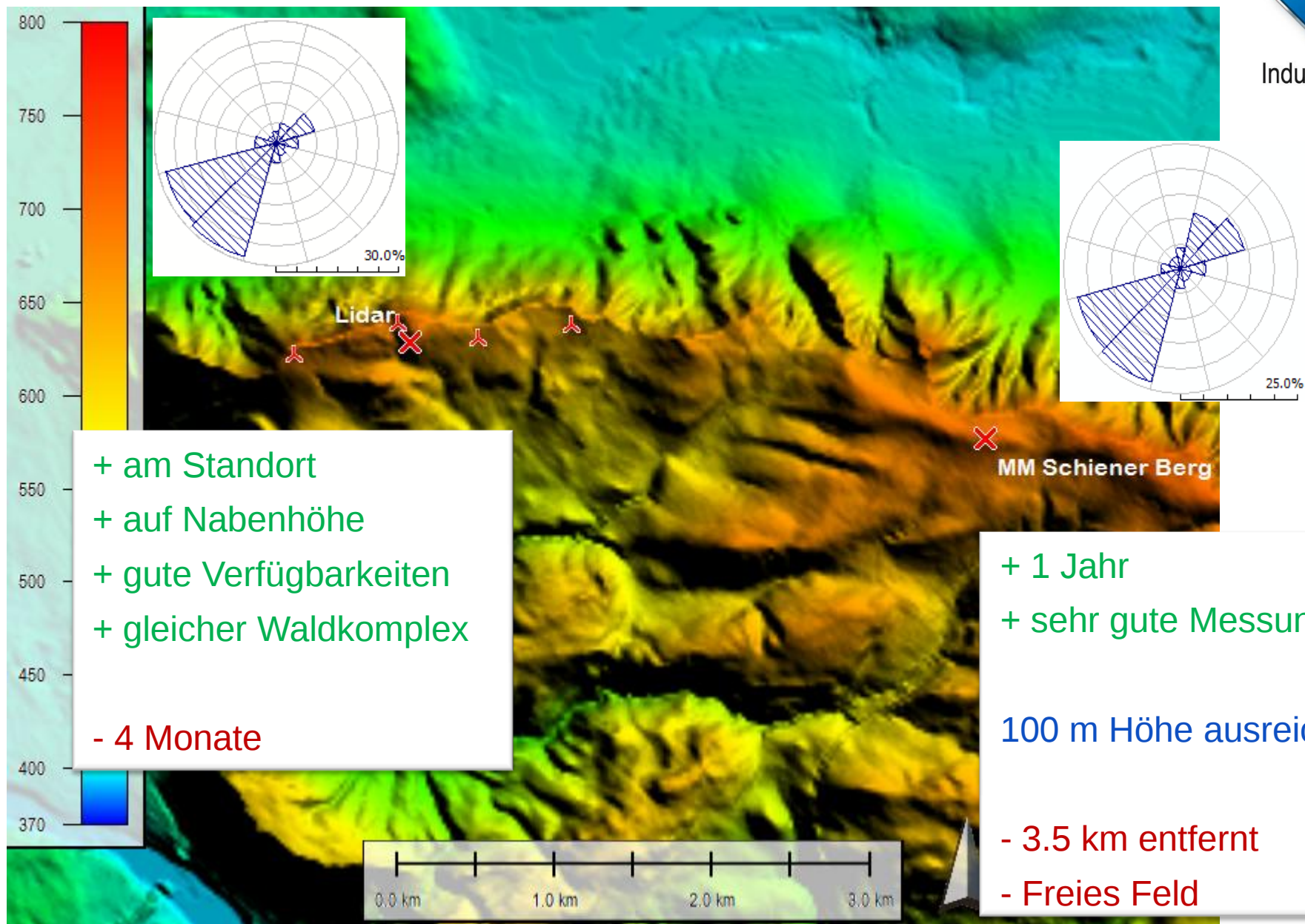
Industrie Service



II c Erstellung Windstatistik



Industrie Service



- + am Standort
- + auf Nabenhöhe
- + gute Verfügbarkeiten
- + gleicher Waldkomplex
- 4 Monate

- + 1 Jahr
- + sehr gute Messung
- 100 m Höhe ausreichend
- 3.5 km entfernt
- Freies Feld

II c Erstellung Windstatistik; Regression



Industrie Service

	Messhöhe ü. G. [m]		Regression (R^2) [%]	
	Messmast Schiener Berg	Lidar Chroobach (nahe Chr-2)	10 Minuten	60 Minuten
v	100	100	89.9	93.4
	100	140	90.7	94.1
dir	95	100	89.6	91.4
	95	140	89.7	91.5

II c Erstellung Windstatistik; Regression



Industrie Service

Time Steps	17'048
Intercept [m/s]	0.335
Slope	0.988
R2	0.907

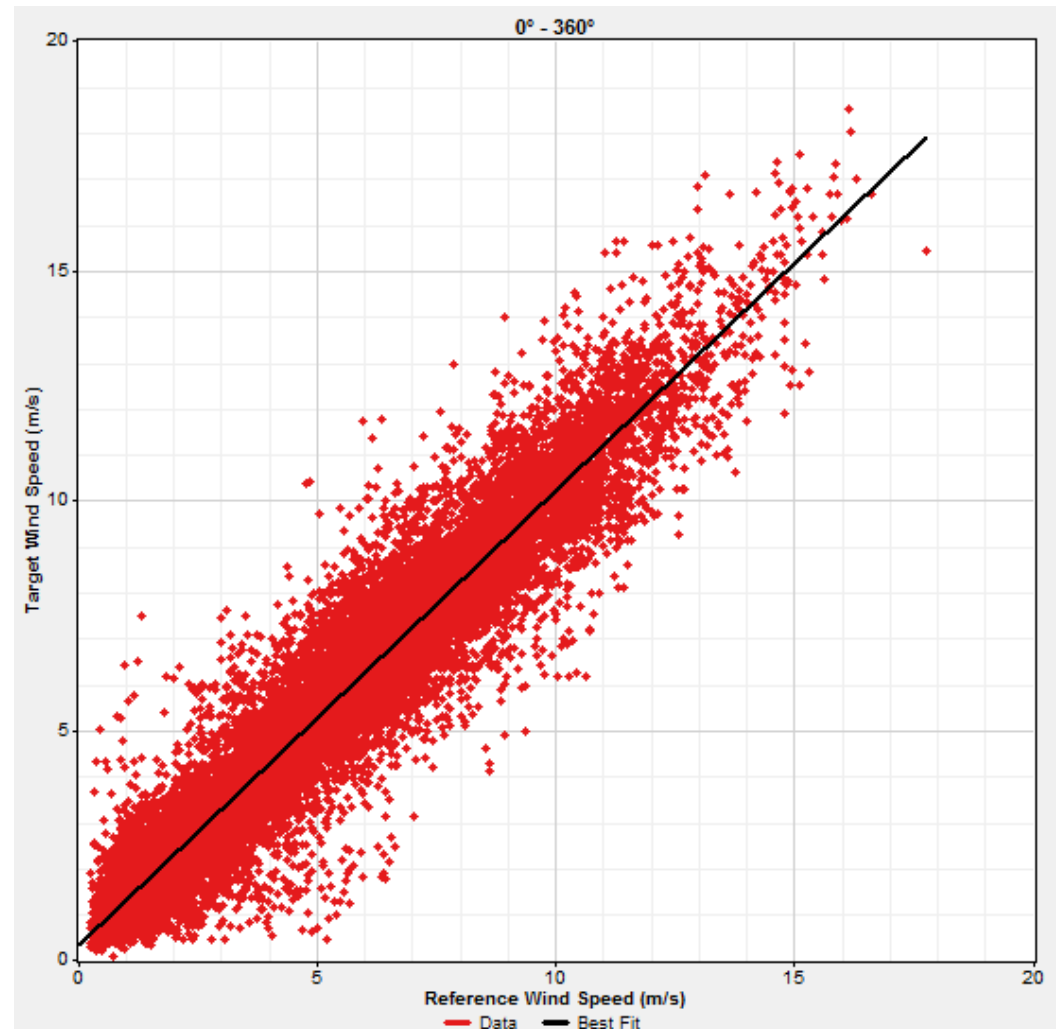
$$v_{\text{Lidar}} = 0.335 + 0.988 * v_{\text{Mast}}$$



140 m



100 m



II c Erstellung Windstatistik; Unsicherheit



Industrie Service

Time Steps	17'048
Intercept [m/s]	0.335
Slope	0.988
R2	0.907

$$v_{\text{Lidar}} = 0.335 + 0.988 * v_{\text{Mast}}$$

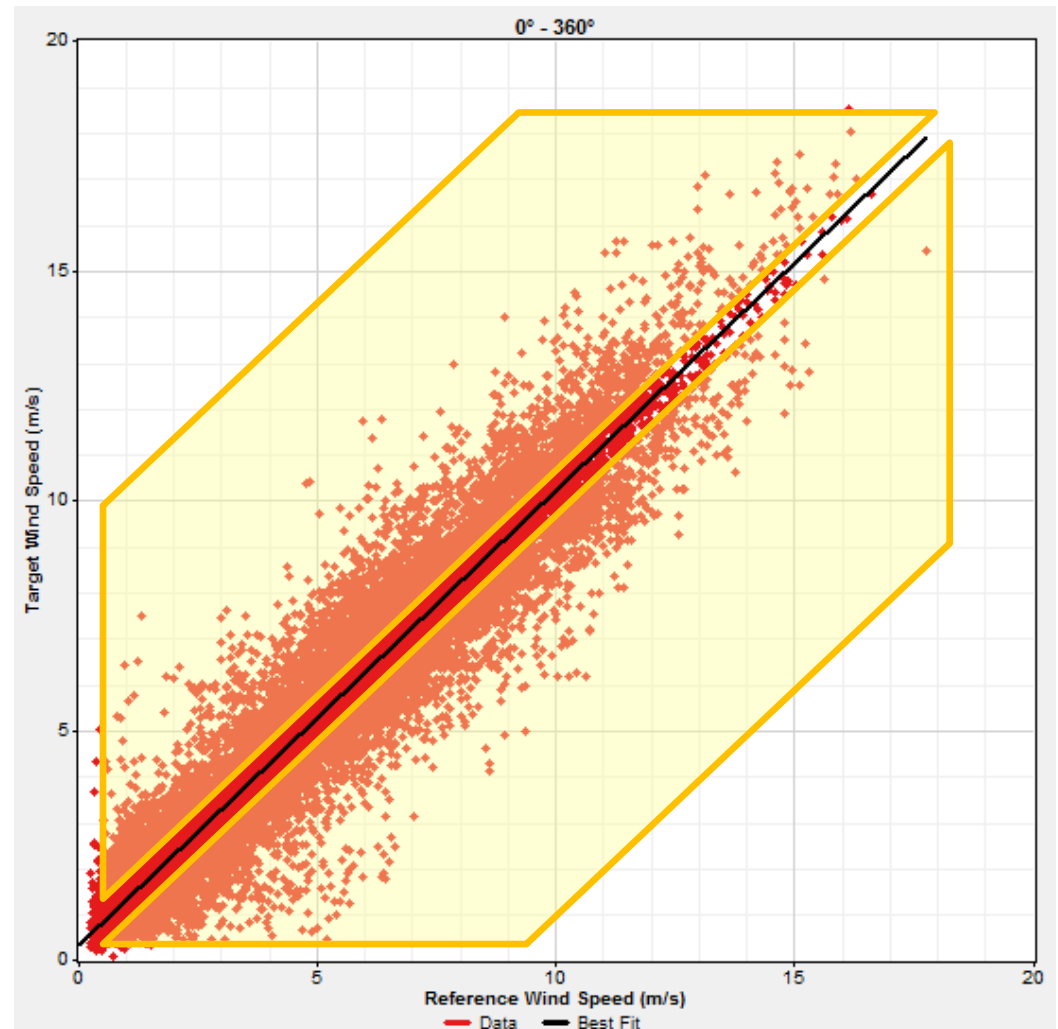


140 m



100 m

1) $R^2 \rightarrow$ Schreuung



II c Erstellung Windstatistik; Unsicherheit



Industrie Service

Time Steps	17'048
Intercept [m/s]	0.335
Slope	0.988
R2	0.907

$$v_{\text{Lidar}} = 0.335 + 0.988 \cdot v_{\text{Mast}}$$



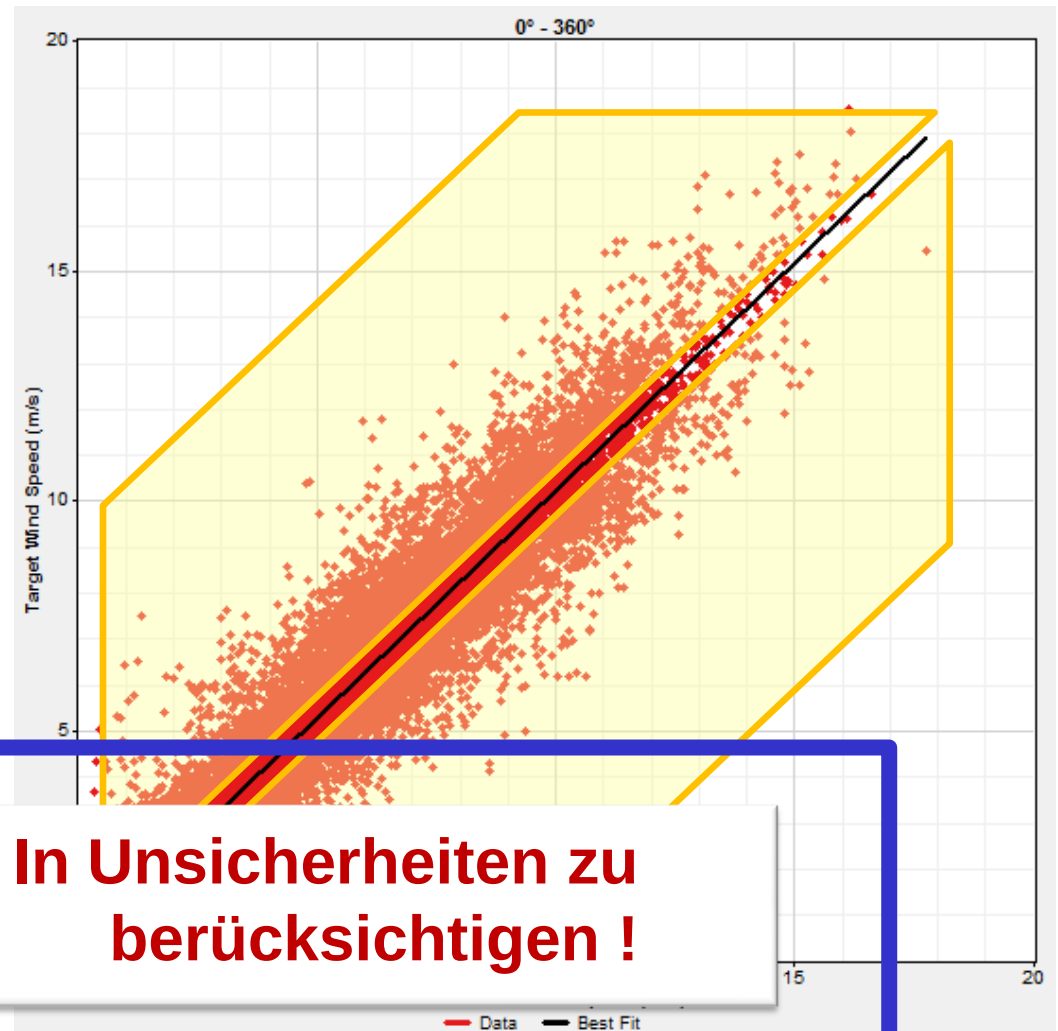
140 m



100 m

1) $R^2 \rightarrow$ Schreuung

2) Regressions-Gleichung
im Winter



**In Unsicherheiten zu
berücksichtigen !**

II d Langzeitbezug



Industrie Service

Warum?

- **1 Jahr Messzeitraum
nicht repräsentativ
für 20 Jahre
Betriebszeitraum**

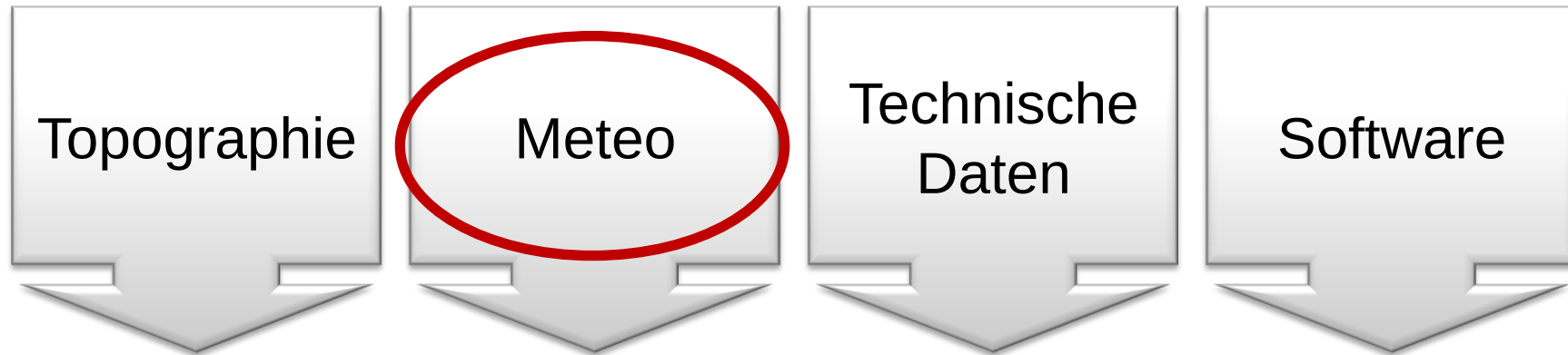
Was ist wichtig?

- **Indexwahl**
- **Referenzzeitspanne**
- **Bestätigung durch
2. Index**

III. Unsicherheiten



Industrie Service



Unsicherheit

Konfig. III (4x E-115, 3 MW, 134 m NH)

Meteorologische Eingangsdaten

11.8

Modellierung Windfeld

7.5

Modellierung Parkwirkungsgrad

2.5

Eingangsdaten WEA

8.6

Kombinierte Standardunsicherheit

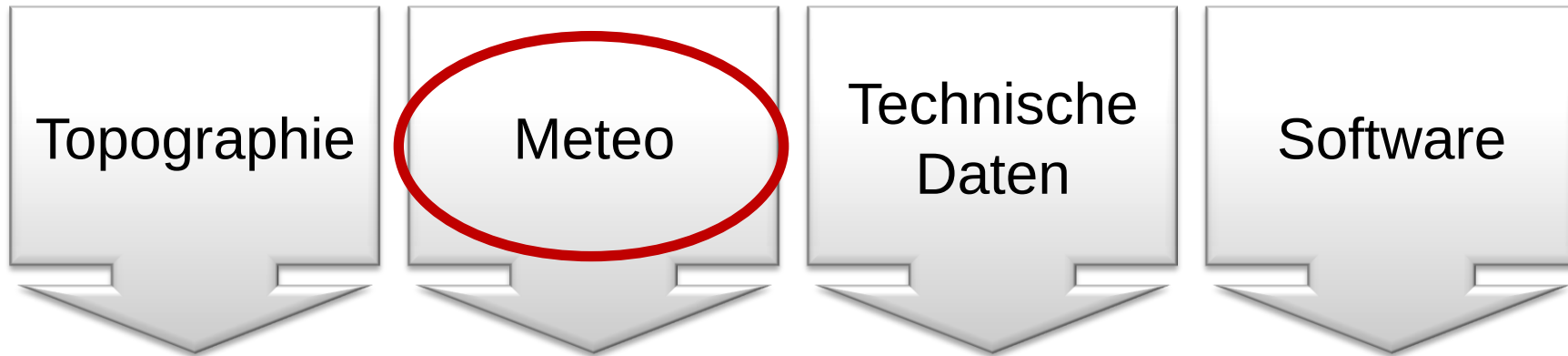
16.6

%

III. Unsicherheiten Meteo



Industrie Service



Konfig. III (4x E-115, 3 MW, 134 m NH)

Meteorologische Eingangsdaten

11.8

Meteo Eing.

Mastdesign, Abstände, Ausmaße, mind. 2/3 NH

Verfügbarkeit

Kalibrierung

Entfernung / Repräsentat. zu WEA

Langzeitbezug

III. Unsicherheiten → P-Values



Industrie Service

10.6.3 Überschreitungswahrscheinlichkeitsfunktion für Parkkonfiguration III

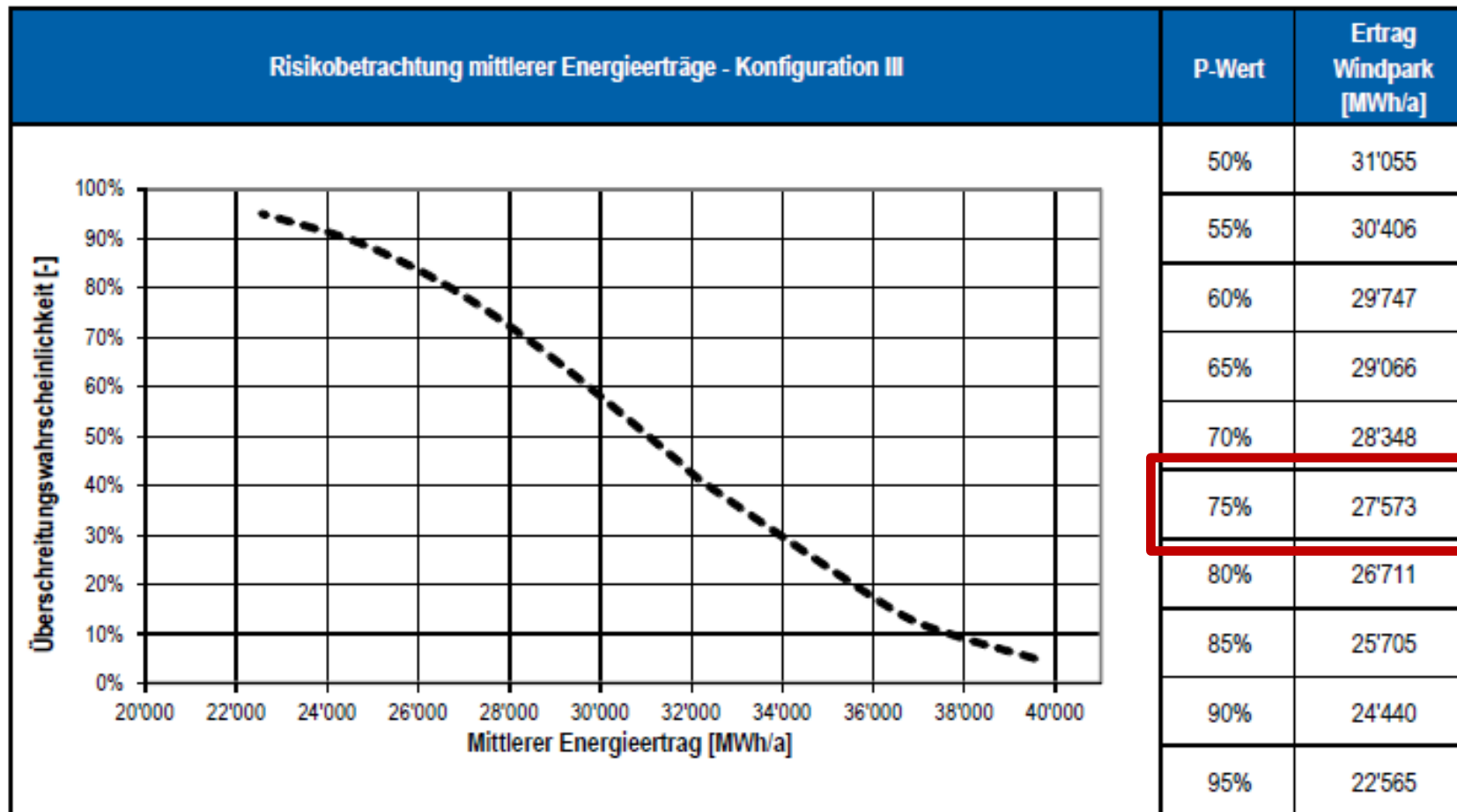
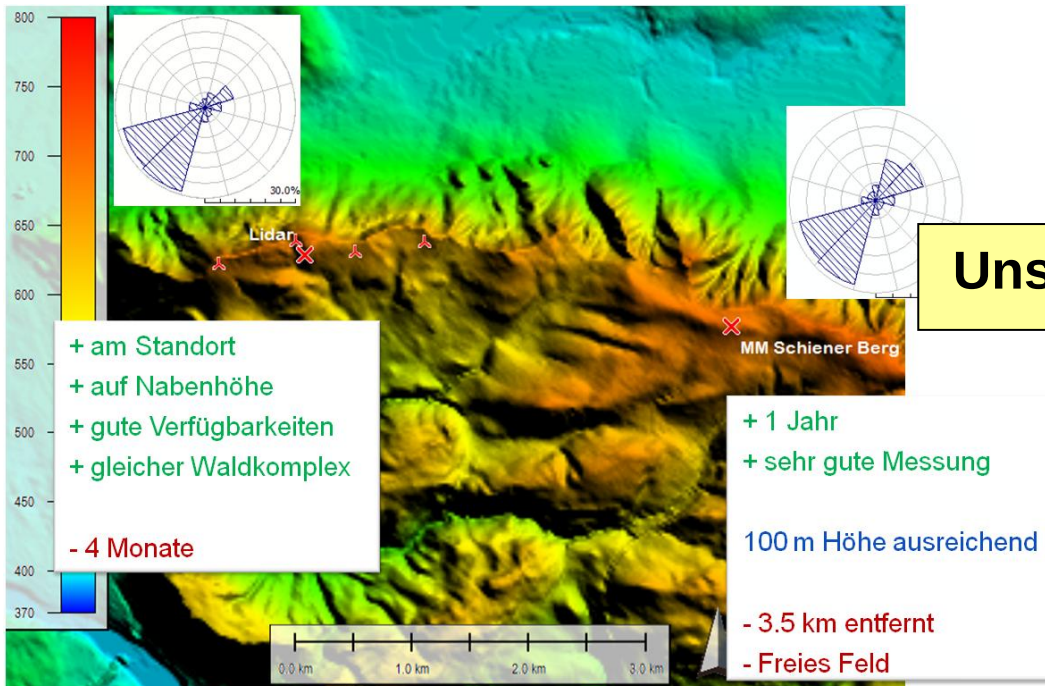


Tabelle 34: Darstellung der Überschreitungswahrscheinlichkeit und der mittleren Erträge des Parks.

Zusammenfassung



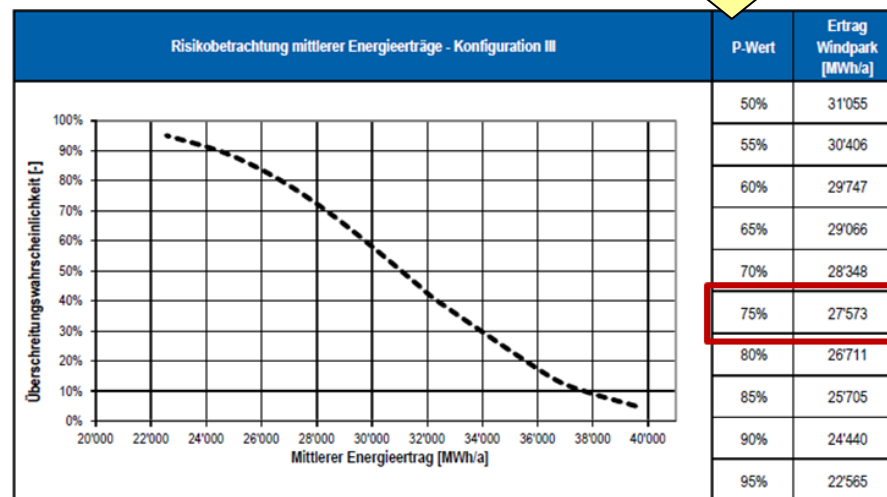
Industrie Service



Unsicherheit

Konfig. III (4x E-115, 3 MW, 134 m NH)		
Meteorologische Eingangsdaten	11.8	%
Modellierung Windfeld	7.5	
Modellierung Parkwirkungsgrad	2.5	
Eingangsdaten WEA	8.6	
Kombinierte Standardunsicherheit	16.6	

P-Value



Vielen Dank ! Fragen ?



Industrie Service

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Welche Fragen sind offen geblieben ?

Dr. Cordula Englert

Abteilung Wind Cert Services

Tel.: +49 (0)941 460212-0

cordula.englert@tuev-sued.de

TÜV SÜD Industrie Service GmbH

Wind Cert Services

Ludwig-Eckert-Str. 10

93049 Regensburg

windenergy@tuev-sued.de