FLEXIBILITÄT VON LIDAR-MESSUNGEN INTELLIGENT NUTZEN: KÜRZERE MESSKAMPAGNEN, MEHRERE STANDORTE, GERINGERE UNSICHERHEITEN

Dr. Lukas Pauscher

Windenergietage 2019, 06. November 2019

Fraunhofer IEE

© Fraunhofer

Innovative Lidar-Messtechniken

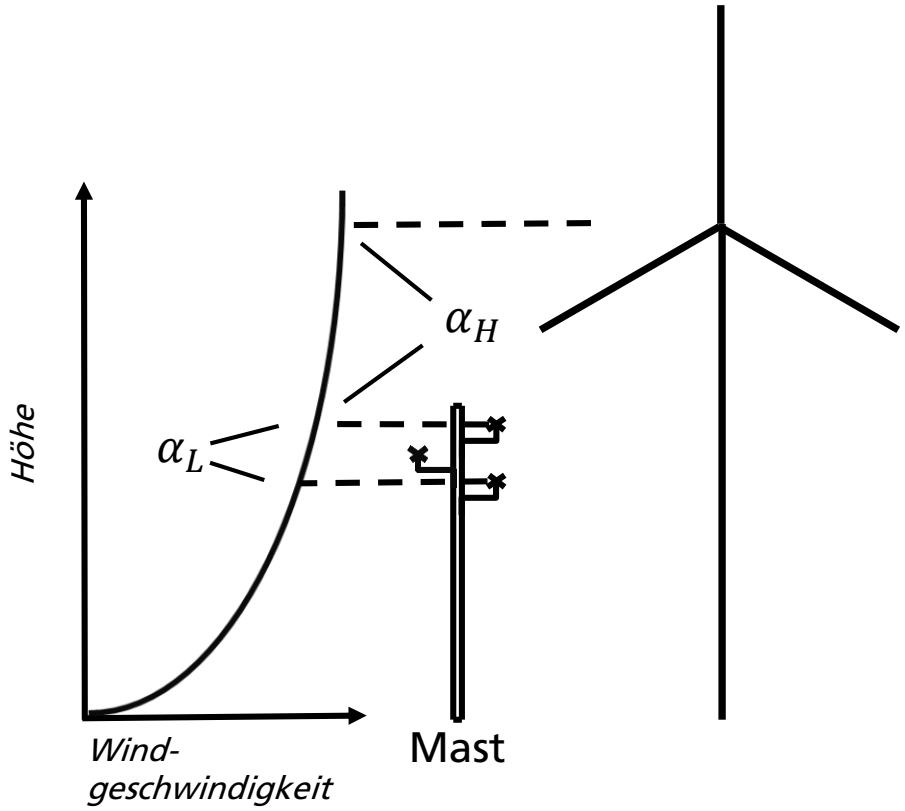
- Flexibilität von Lidar intelligent nutzen:
  - Windprofilextrapolation mit Lidar + Mast
  - Kurze Messungen an mehreren Standorten
- Lidar-Technik verbessern:
  - Prinzip Multi-Lidar
  - Turbulenzmessungen mit Multi-Lidar
- Multi-Lidar Messungen aus Herstellersicht
  Karin Görner

SIEMENS Gamesa

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Windprofilextrapolation



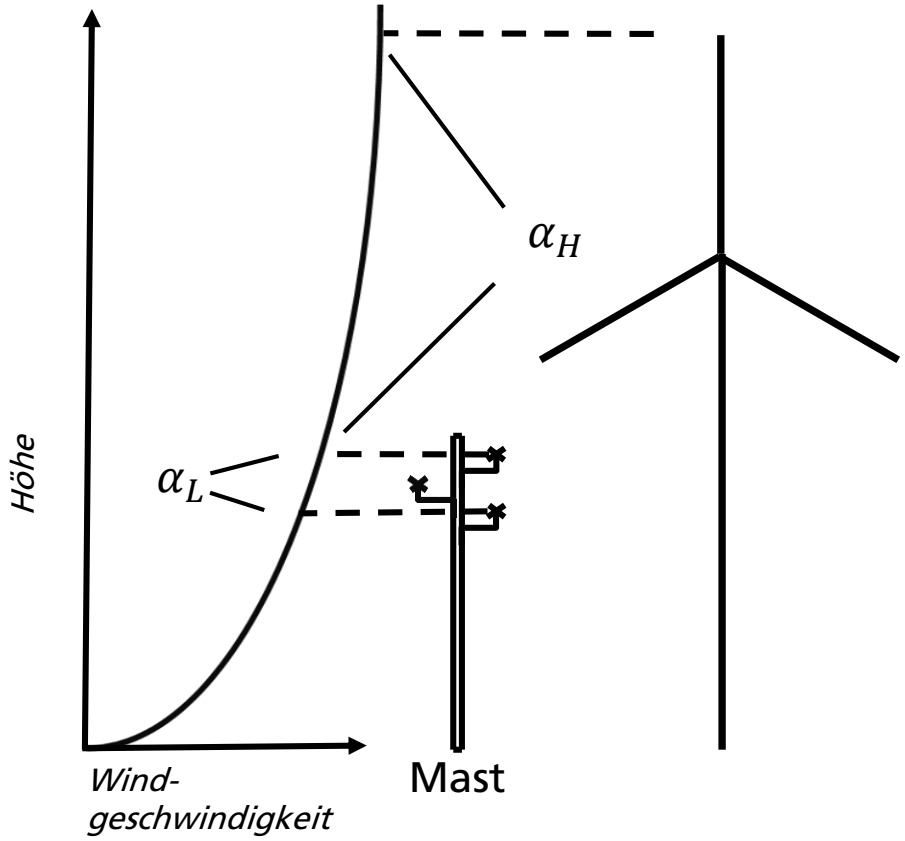
- **Extrapolation:**
  - Windscherung wird mit Mast gemessen und auf Nabenhöhe extrapoliert
  - Annahme $\alpha_L = \alpha_H$

$$u_{ex} = u_{mess} \cdot \left(\frac{z_{ex} - d}{z_{mess} - d} \right)^{\alpha}$$

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Windprofilextrapolation



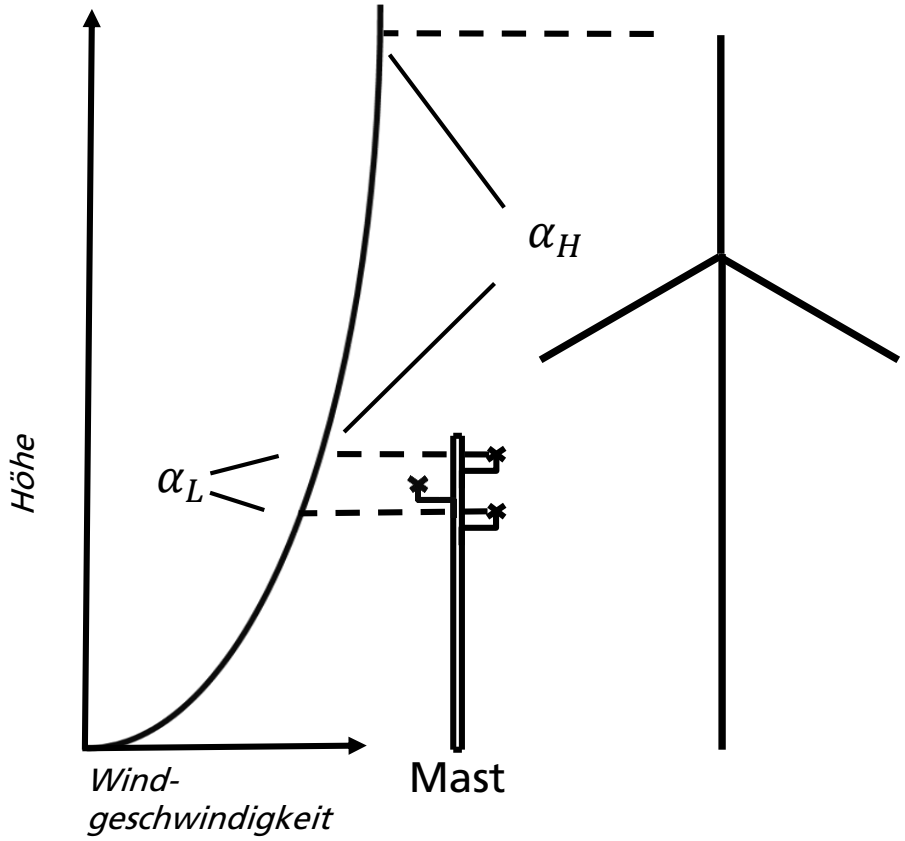
- **Extrapolation:**
  - Windscherung wird mit Mast gemessen und auf Nabenhöhe extrapoliert
  - Annahme $\alpha_L = \alpha_H$

$$u_{ex} = u_{mess} \cdot \left(\frac{z_{ex} - d}{z_{mess} - d} \right)^{\alpha}$$

© Fraunhofer

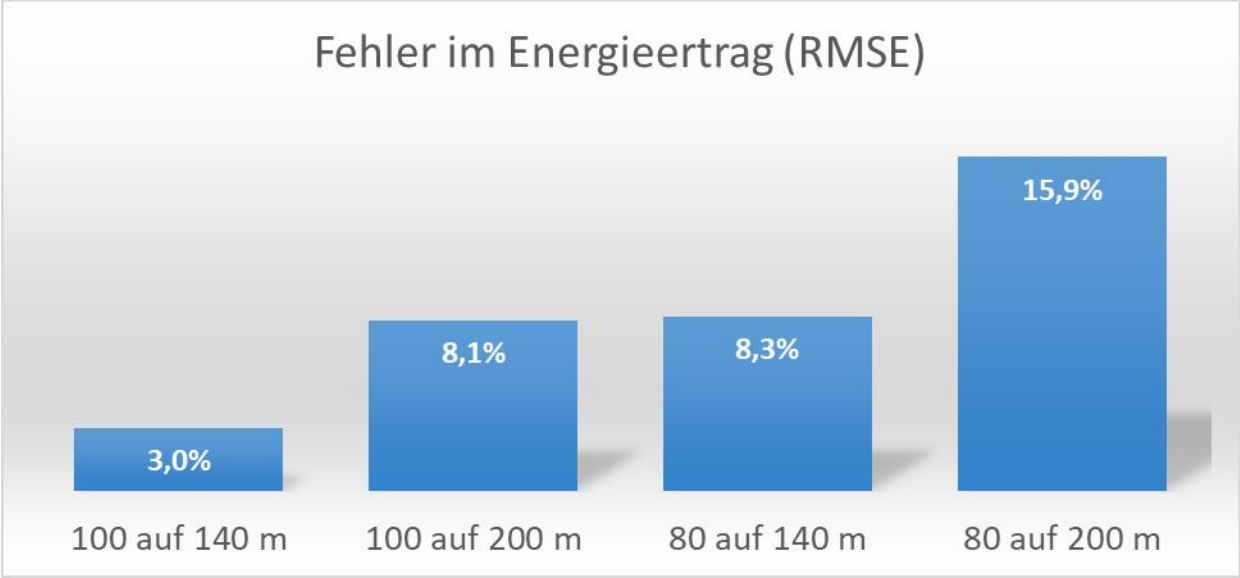
Fraunhofer IEE

Windprofilextrapolation



10 Standorte

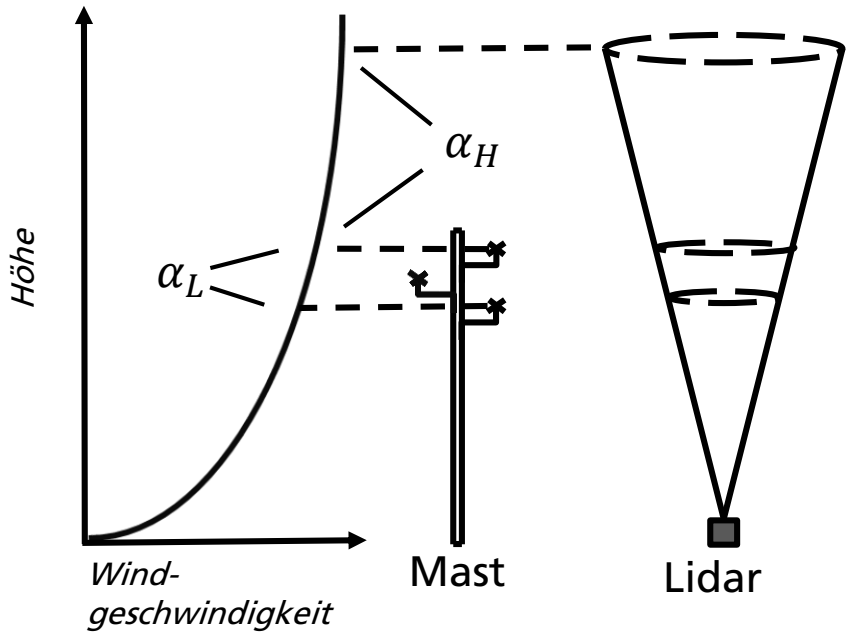
- **Extrapolation:**
  - Windscherung wird mit Mast gemessen und auf Nabenhöhe extrapoliert
  - Annahme $\alpha_L = \alpha_H$



© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Windprofilextrapolation: Kombination von Mast und Lidar



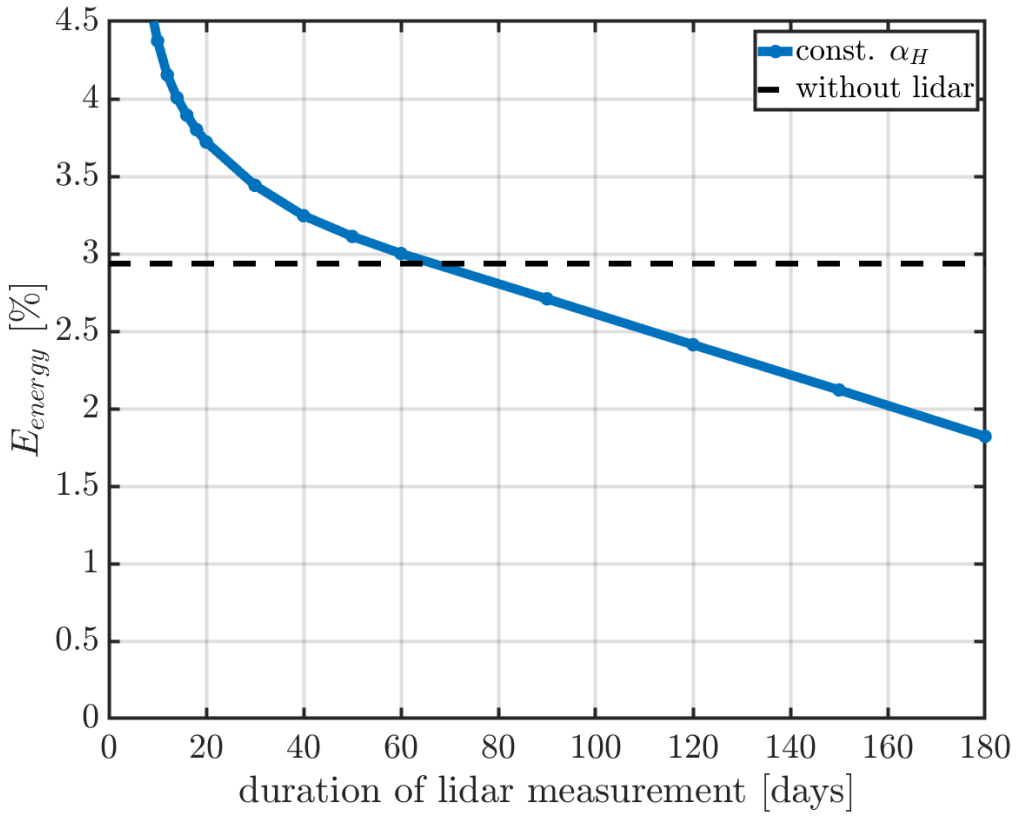
- **Prinzip:**
  - Mast (1 Jahr) + Lidar (wenige Wochen bis Monate)
  - Nutzen der Lidar-Messung auf der Zielhöhe
- α_H aus kurzer Lidar-Messung

© Fraunhofer

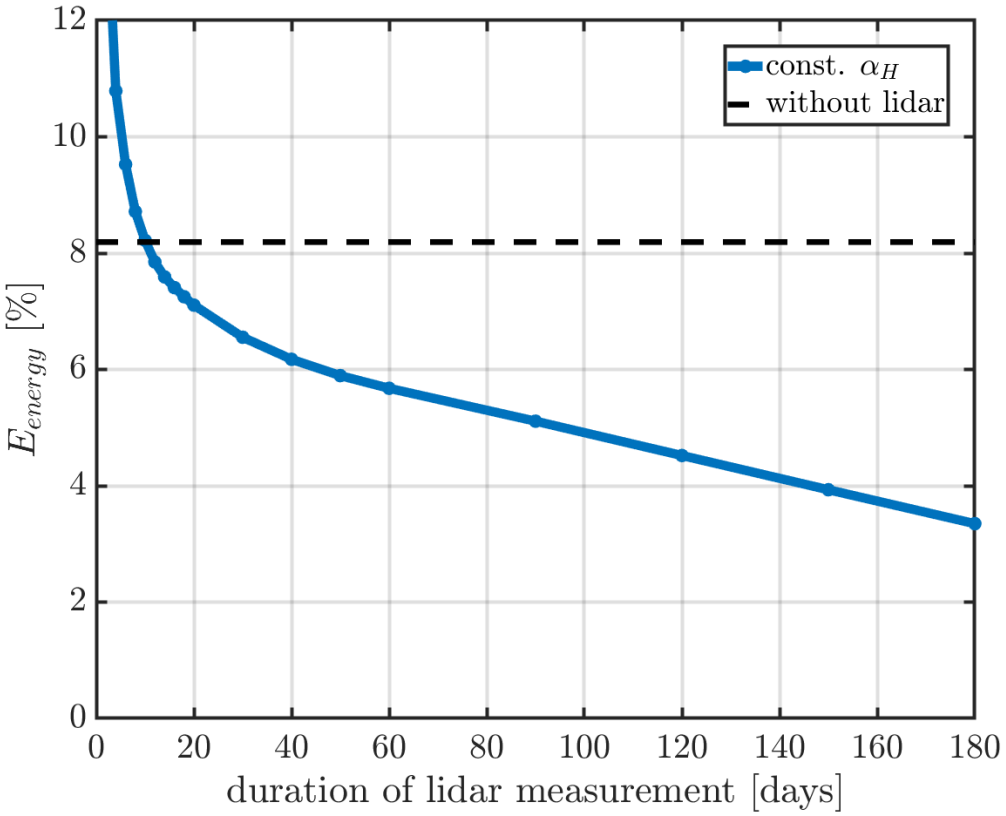
Fraunhofer IEE

Windprofilextrapolation: Konstantes α_H

100 m → 140 m



100 m → 200 m

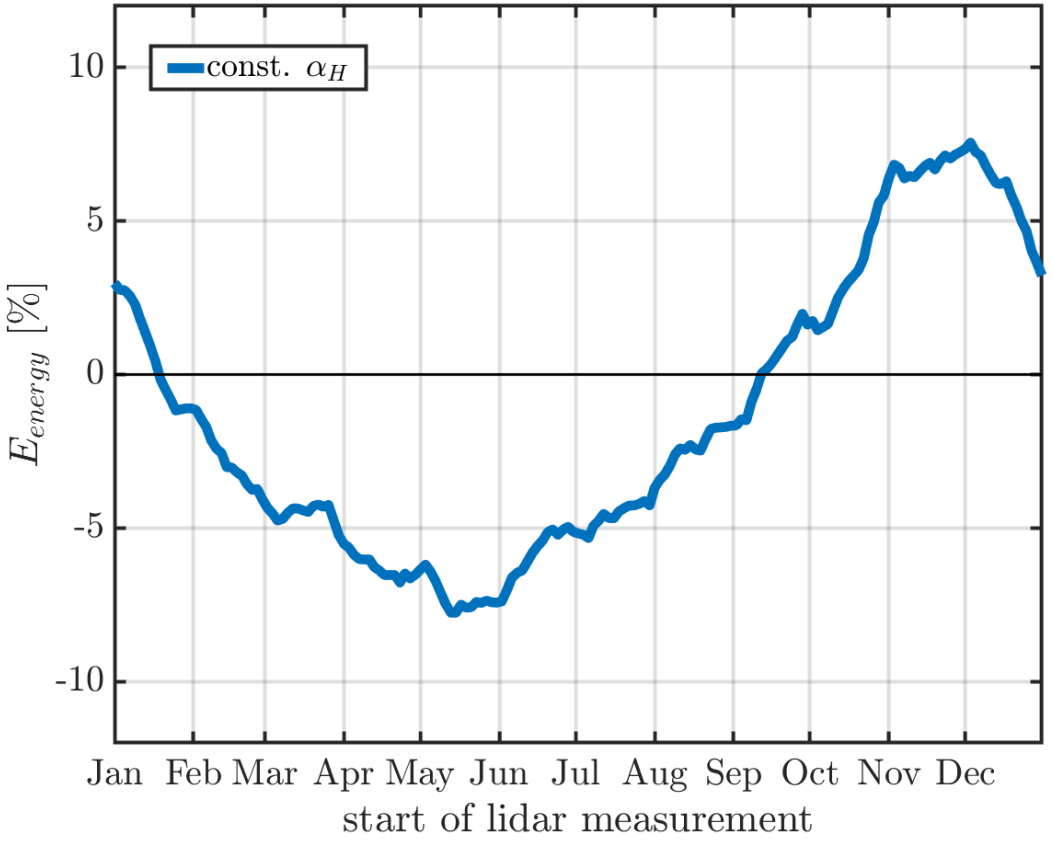


© Fraunhofer

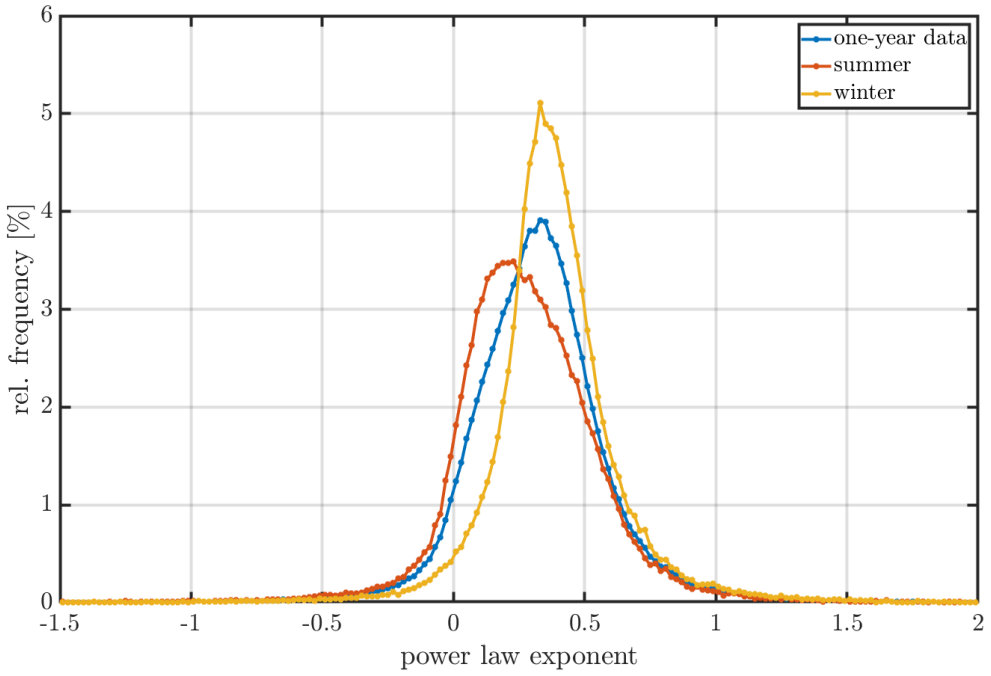
Fraunhofer IEE

Windprofilextrapolation: Konstantes α_H

Saisonaler Bias: 100 m → 200 m



Saisonaler Bias: α_H

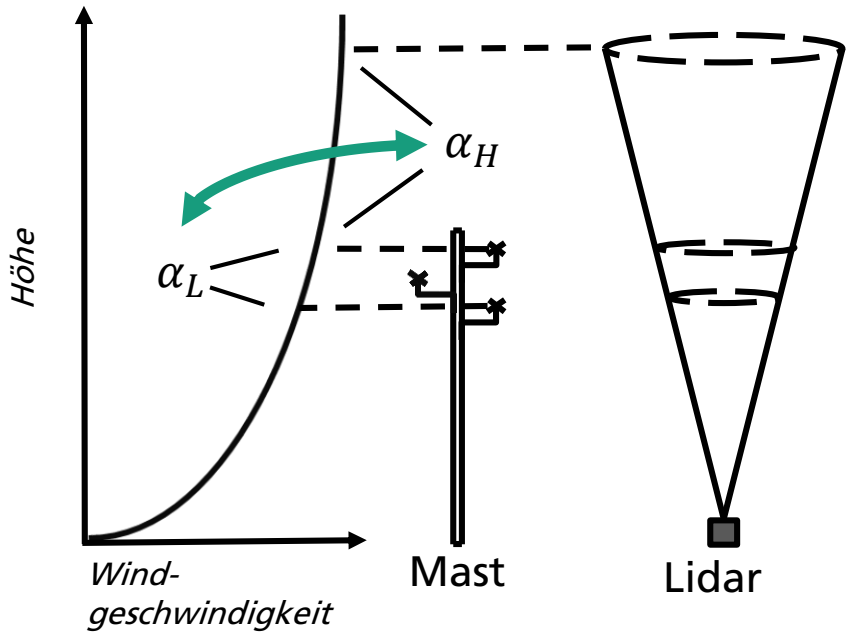


- Starke saisonale Schwankungen in α_H

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Windprofilextrapolation: Kombination von Mast und Lidar



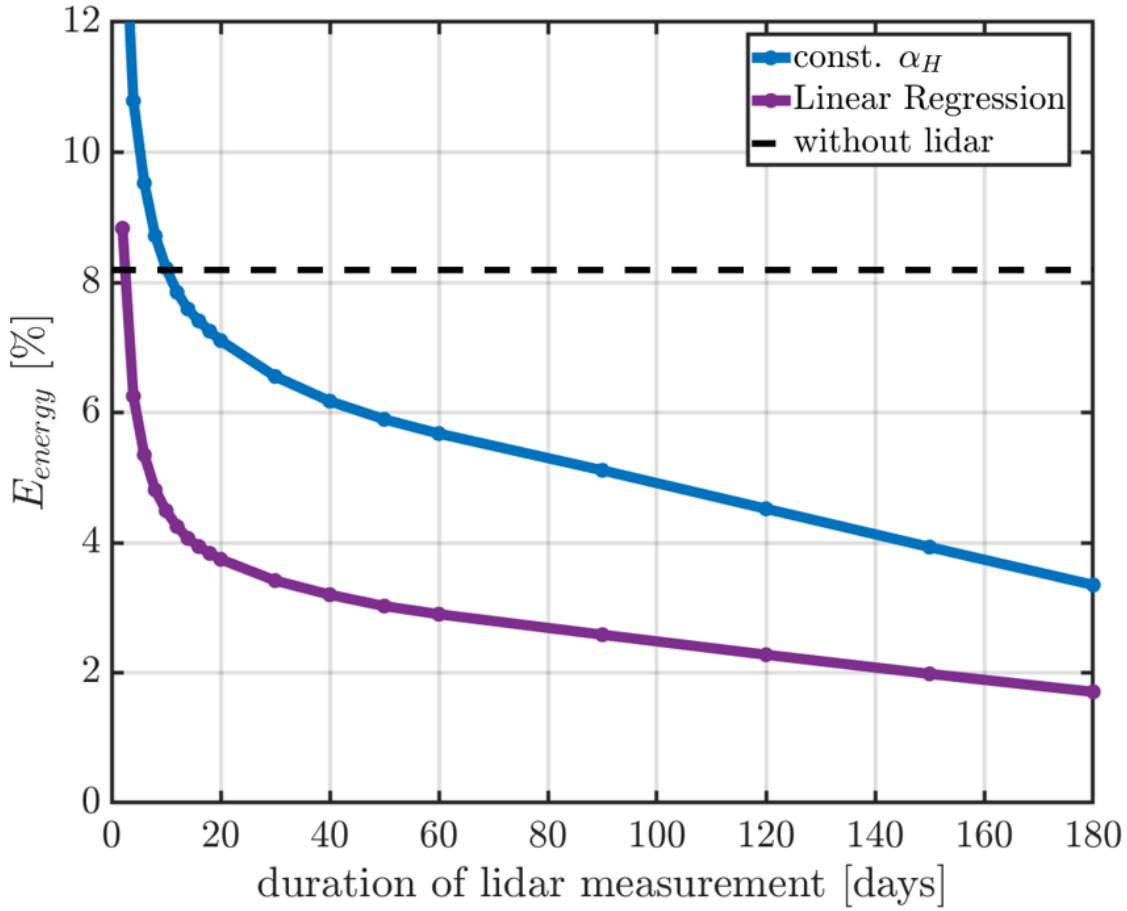
- **Prinzip:**
  - Mast (1 Jahr) + Lidar (wenige Wochen bis Monate)
  - Nutzen der Lidar-Messung auf der Zielhöhe
- Bestimmung einer **Korrelationsfunktion** zwischen α_H und α_L im Lidar-Messzeitraum
- **Korrektur** von α_L im Extrapolationszeitraum

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Windprofilextrapolation: Mit Korrelationsfunktion

100 m → 200 m



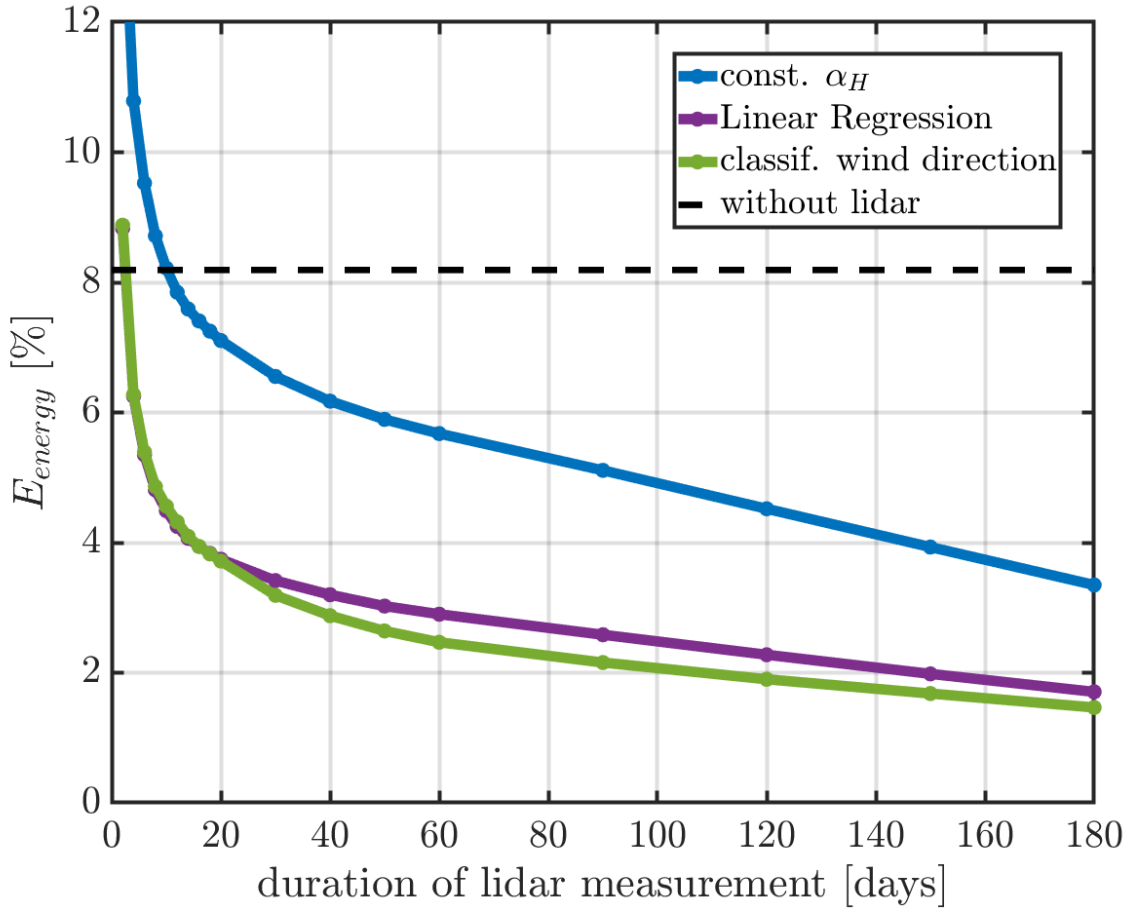
- Deutliche Reduktion der Extrapolationsfehler durch Korrelationsfunktion
- Auch kurze Messdauern führen zu signifikanter Verbesserung

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Windprofilextrapolation: Mit Korrelationsfunktion

100 m → 200 m

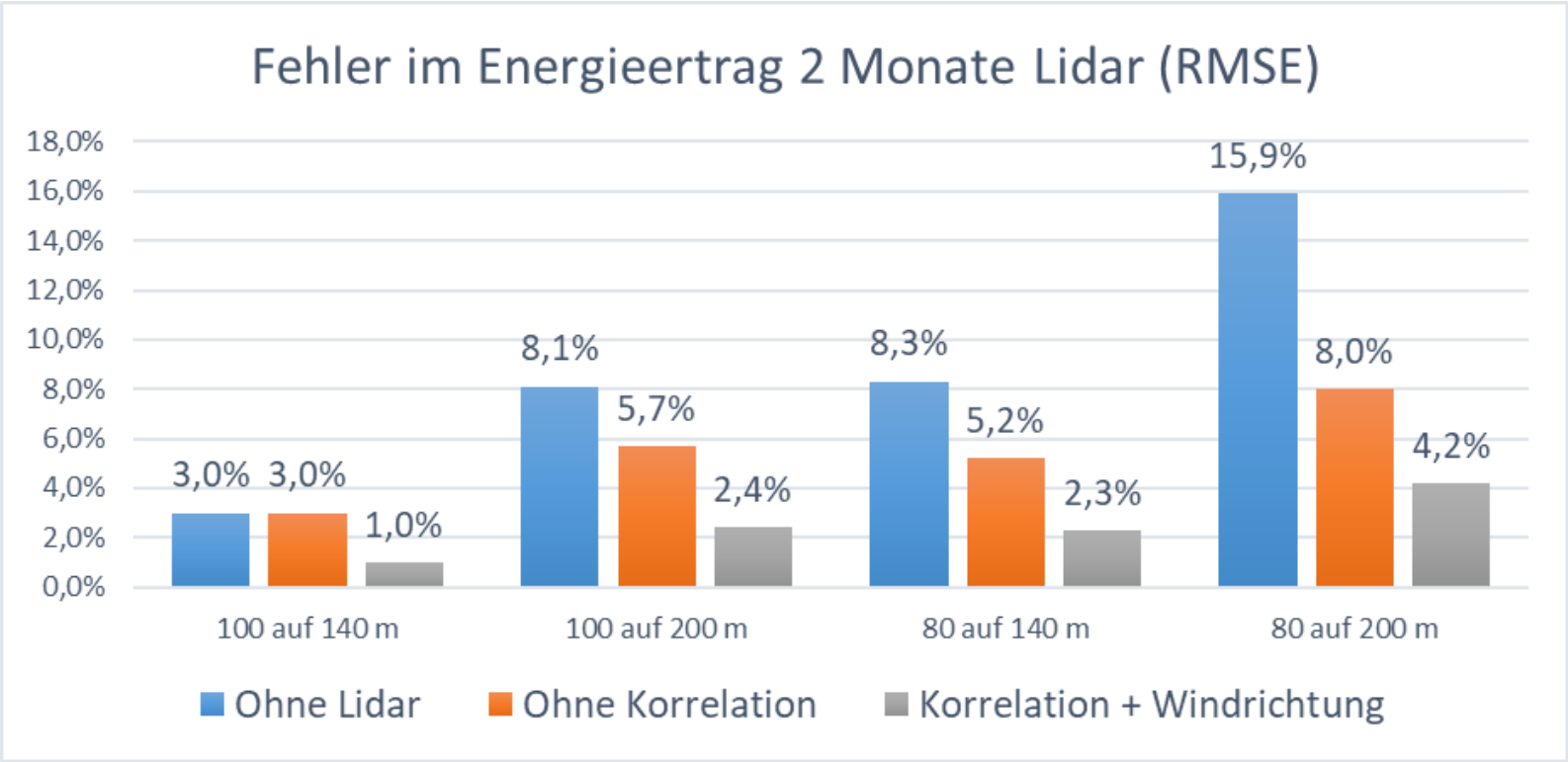


- Deutliche Reduktion der Extrapolationsfehler durch Korrelationsfunktion
- Auch kurze Messdauern führen zu signifikanter Verbesserung
- Einbeziehung von Klassifizierungsparametern wie z.B. Windrichtung verbessert Extrapolation weiter
- Saisonaler Bias wird fast vollständig beseitigt

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Windprofilextrapolation: Vergleich verschiedener Methoden

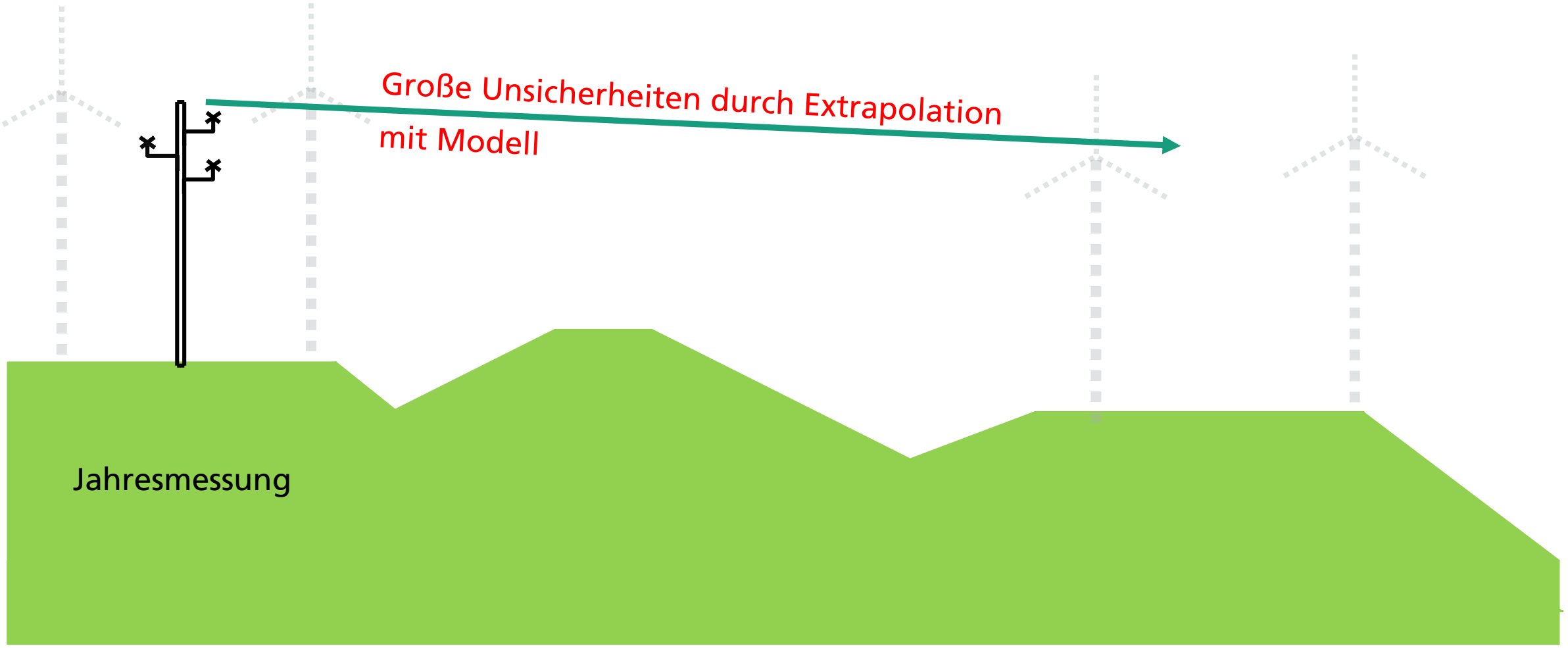


- 2 Monate Lidar-Messung: Unsicherheit Windprofilextrapolation sinkt um ca. 70%
- Korrelationsmethode ist essentiell

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

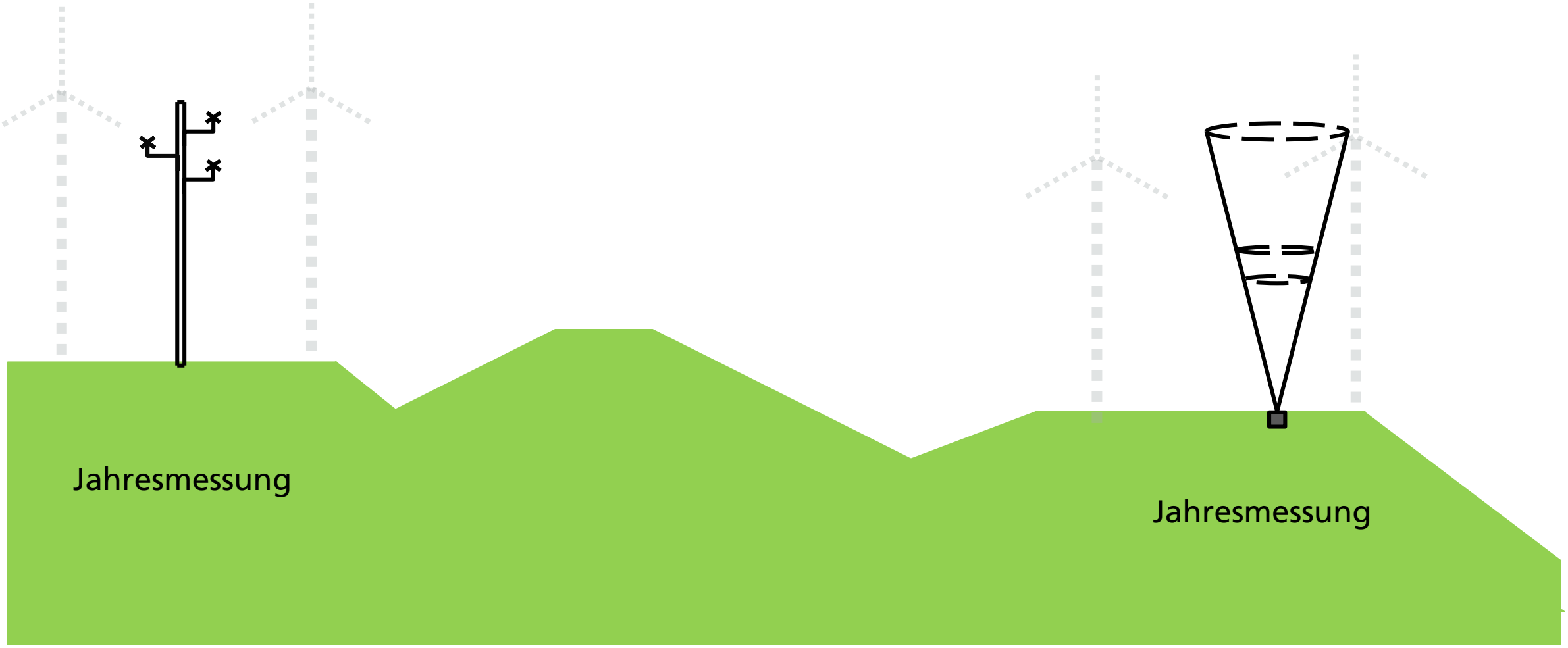
Horizontalextrapolation der Windressource im Windpark



© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

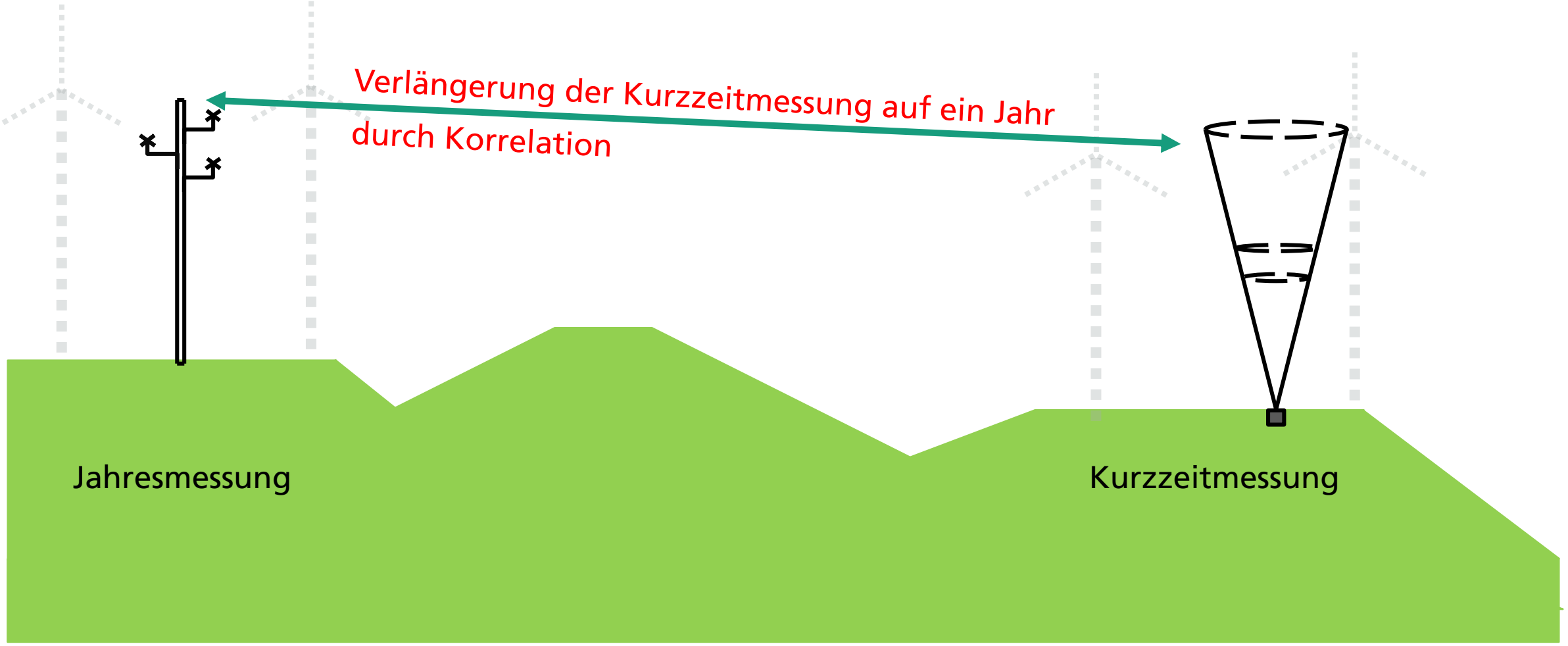
Horizontalextrapolation der Windressource im Windpark



© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

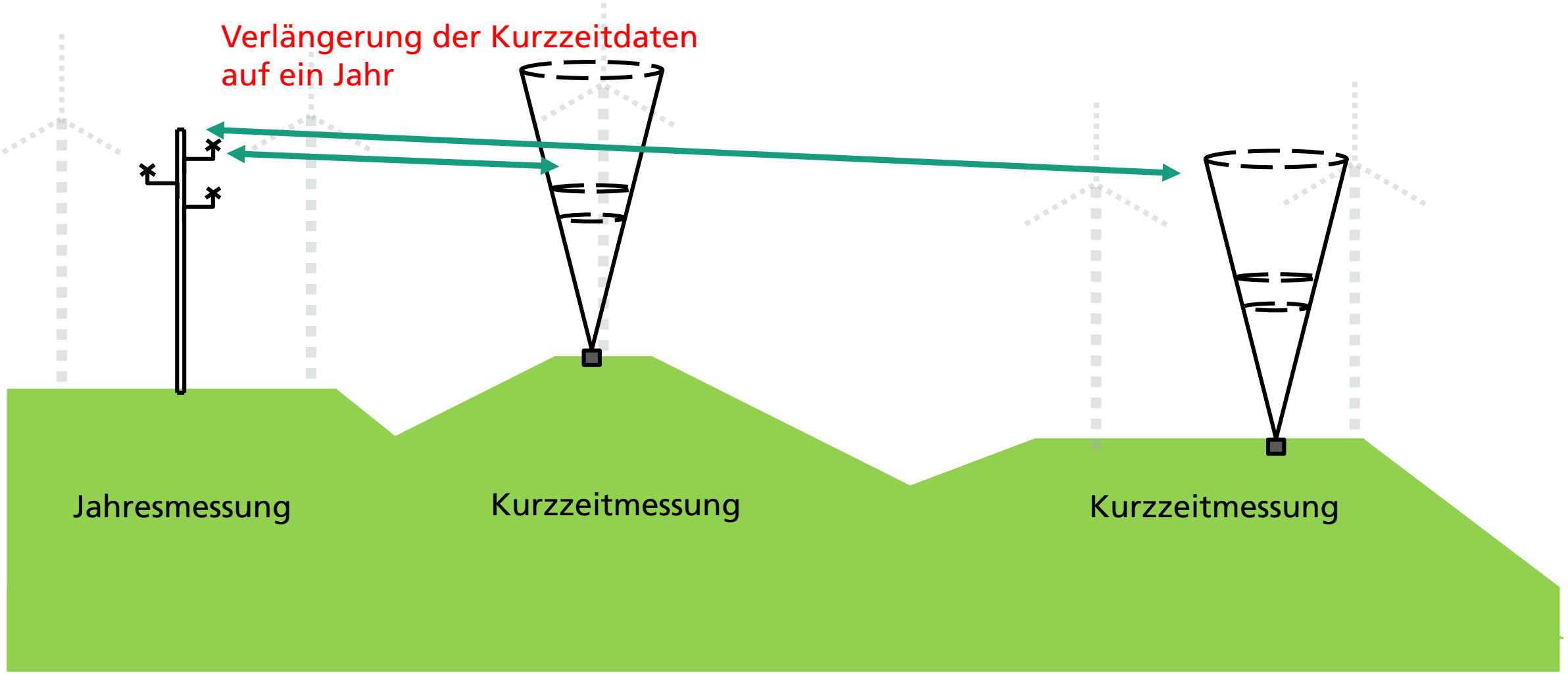
Horizontalextrapolation mit kürzeren Messungen



© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Horizontalextrapolation mit kürzeren Messungen



© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Langzeitkorrektur

Messung am Standort

Korrelation: Verlängerung der Windzeitreihe

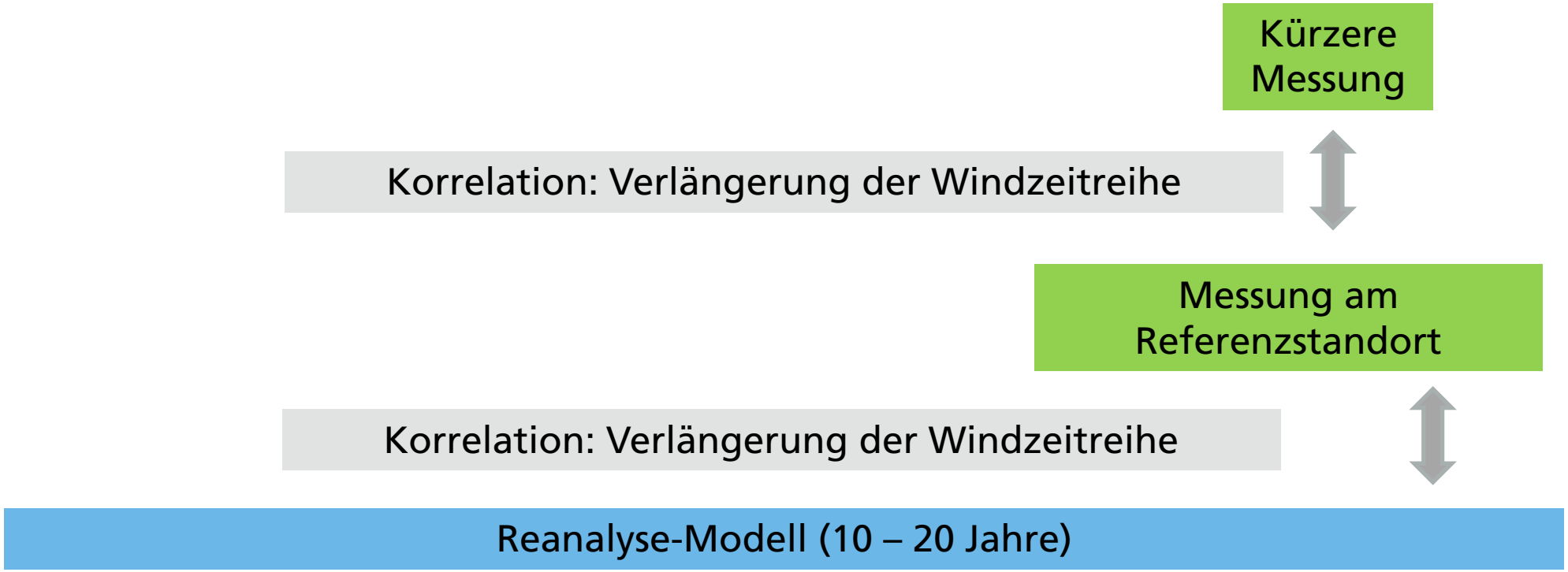
Reanalyse-Modell (10 – 20 Jahre)

- Ist die Messdauer zu kurz, steigen die Unsicherheiten signifikant
- TR6: mind. ein Jahr Messung

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Langzeitkorrektur

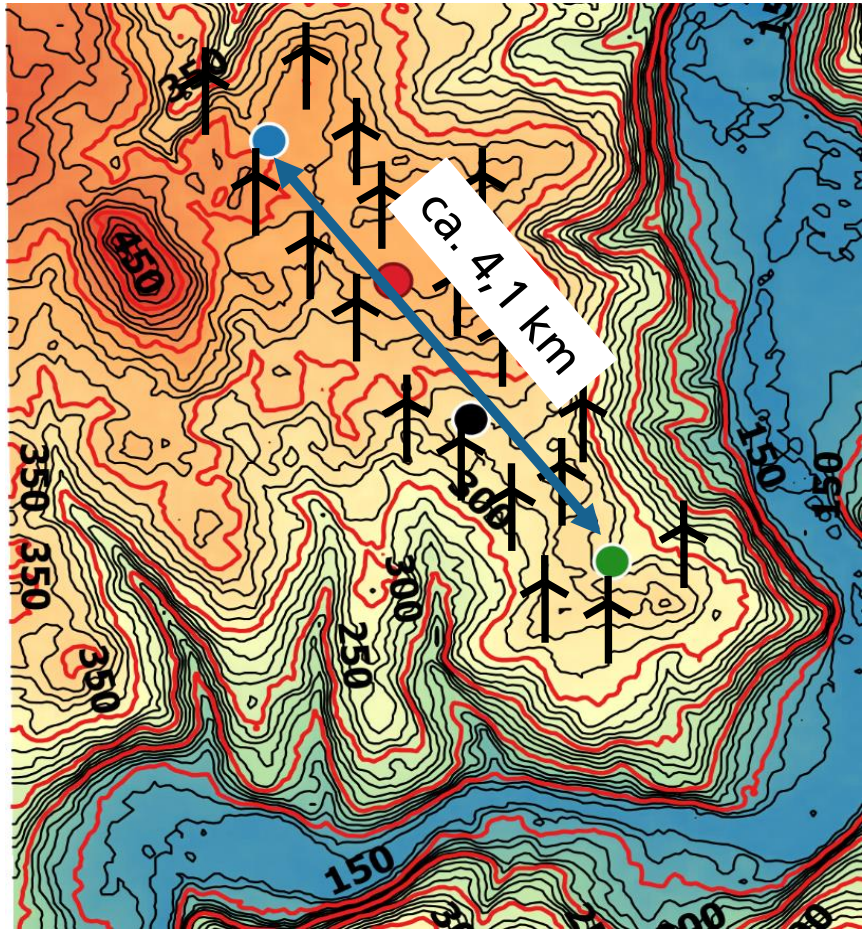


- Zweistufige Korrelation
- Wie lang muss die Kurzzeitmessung sein?

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Beispielstandort



- 4 Messungen an einem Standort (Lidar und Mast) im Mittelgebirge
- Alle Messungen überlappen mindestens ein Jahr
- Wie senken Kurzzeitmessungen den Fehler in der Schätzung der Windgeschwindigkeit?
- Messkampagne im Rahmen des Projektes LiMeS durchgeführt.

Gefördert durch:

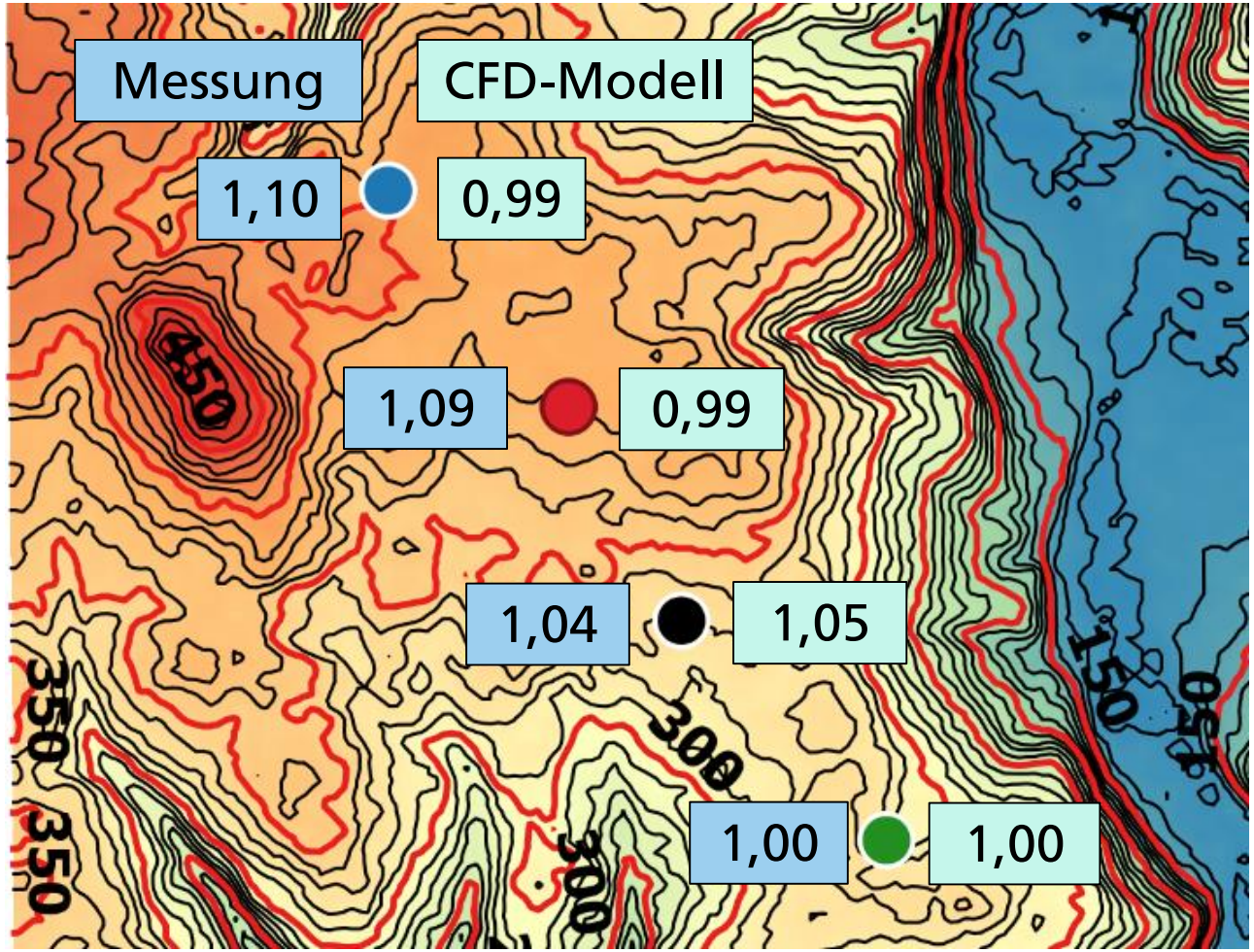
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Modellierungsergebnisse am Beispielstandort

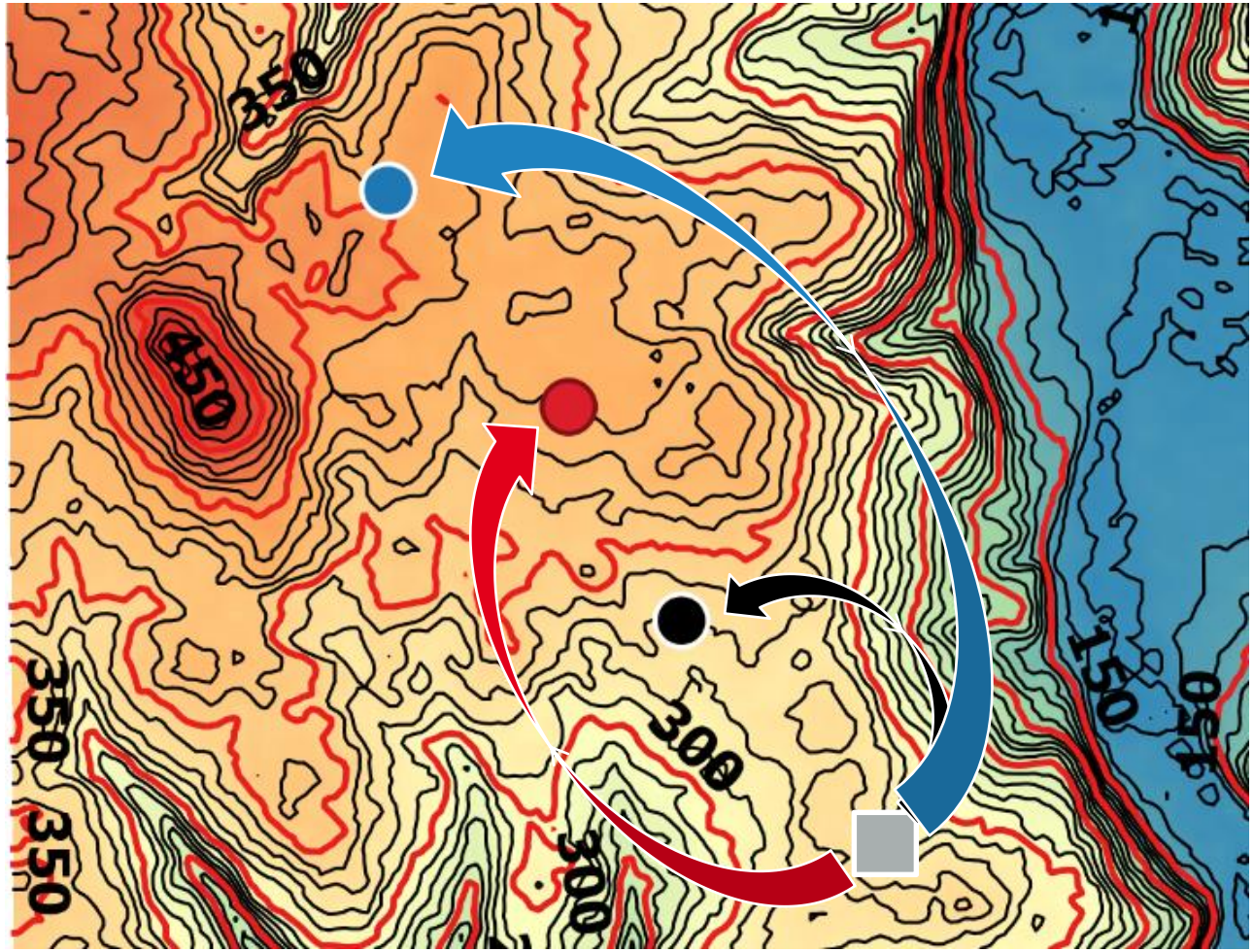


- CFD-Modell weist große Fehler auf
- WASP liefert sehr ähnliche Ergebnisse
- Unsicherheit in der vertikalen Extrapolation sehr hoch

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Beispielstandort



Frage:

Wie stark reduzieren Kurzzeitmessungen an zusätzlichen Standorten die Unsicherheit?

Benchmark:

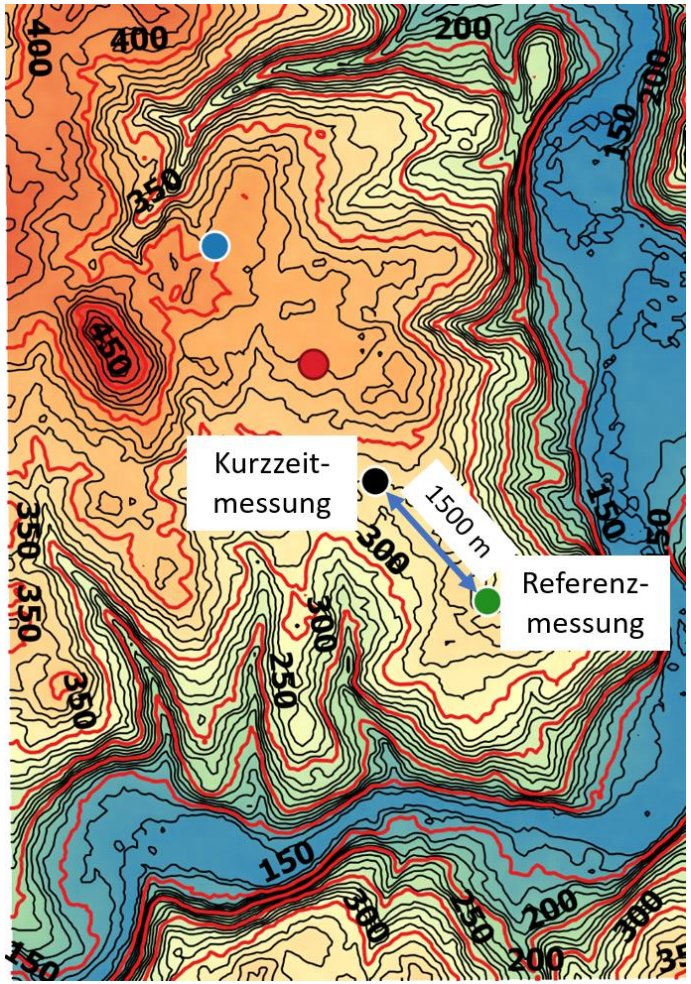
Langzeitkorrigierte Messungen an den jeweiligen Standorten.

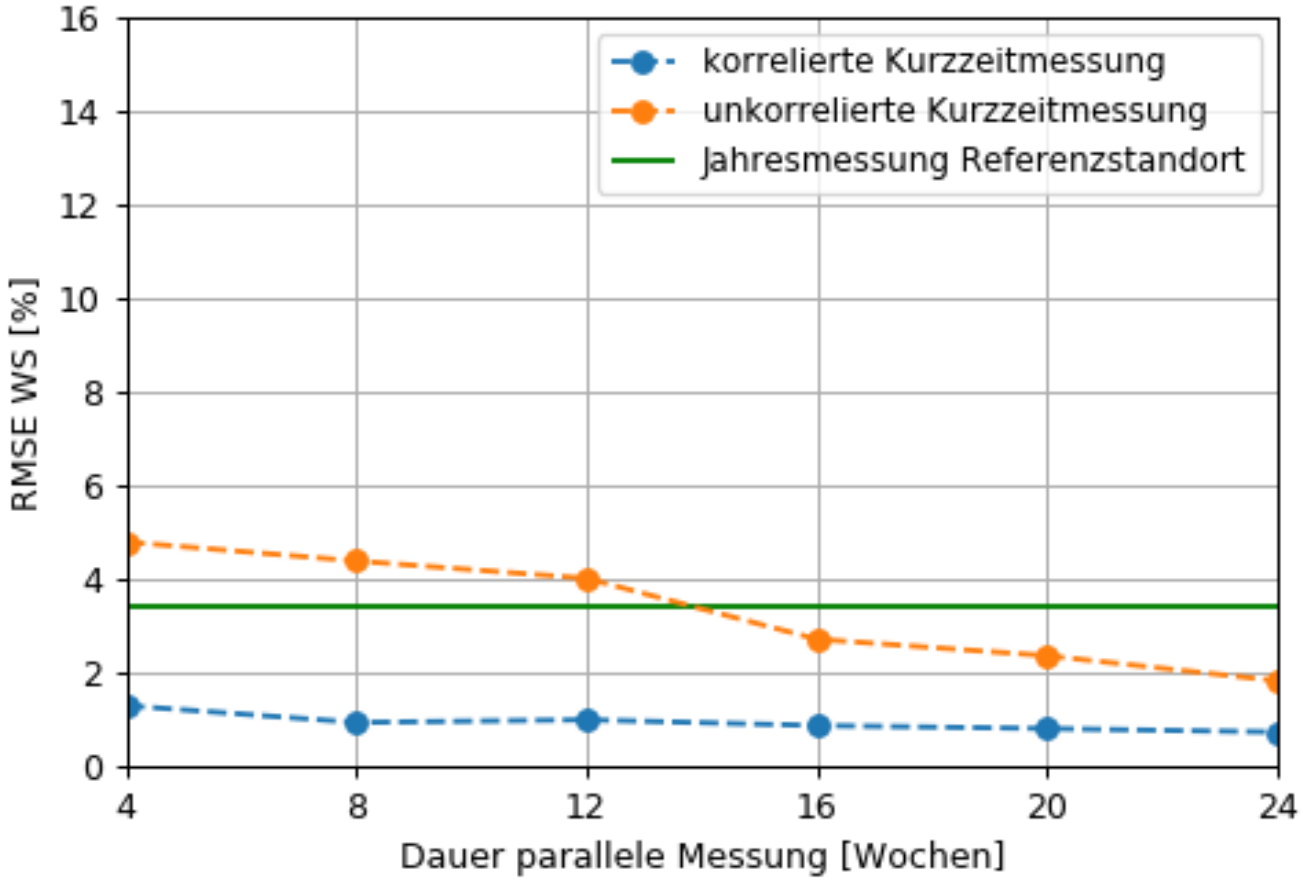
- Kurzzeitmessung
- Jahresmessung

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Abweichungen in der Windgeschwindigkeit

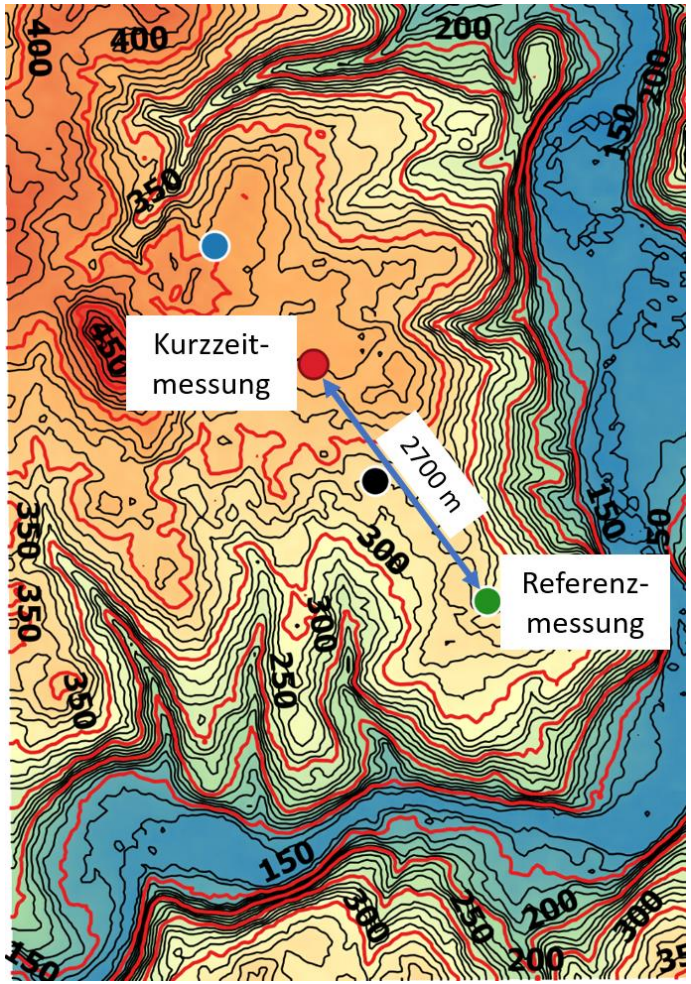


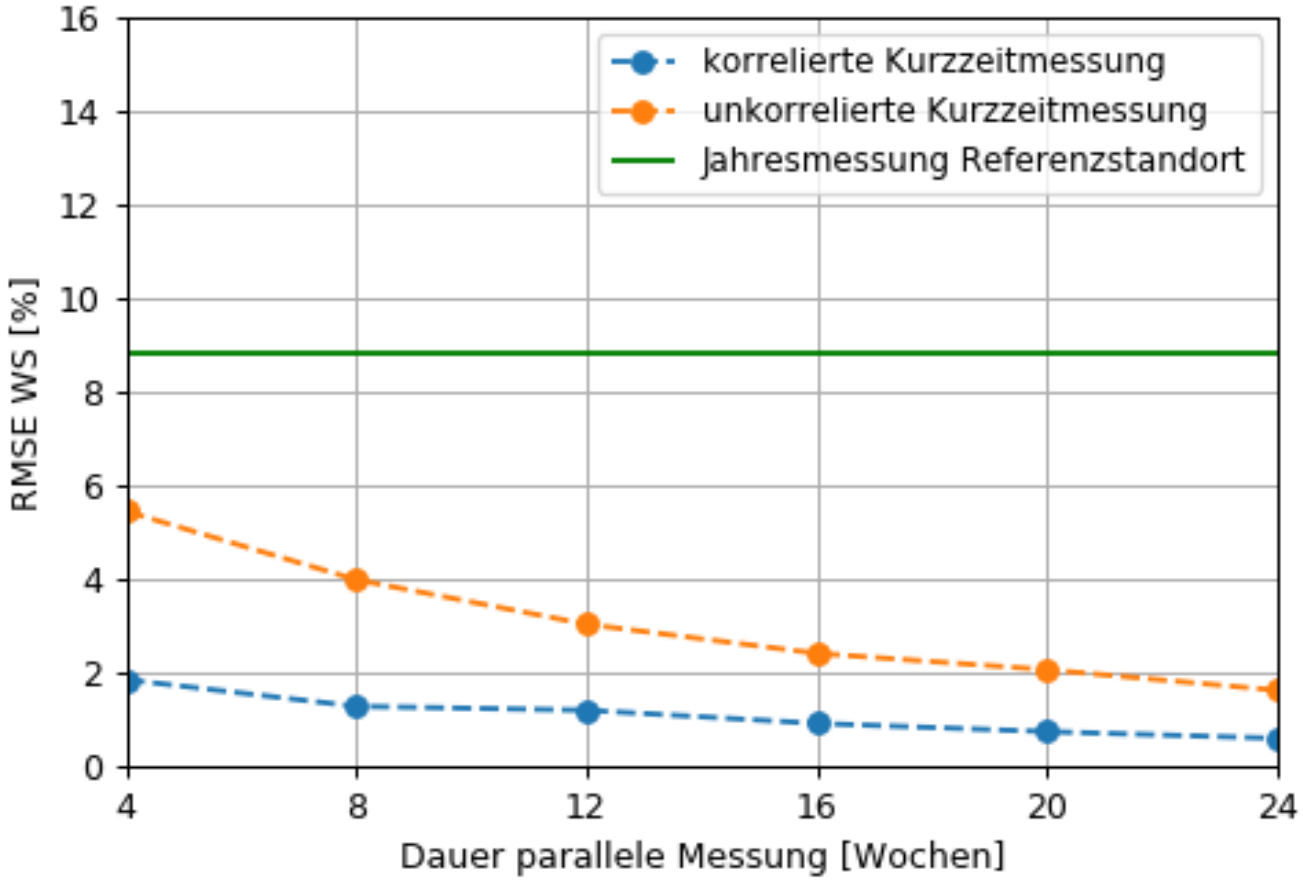


© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Abweichungen in der Windgeschwindigkeit

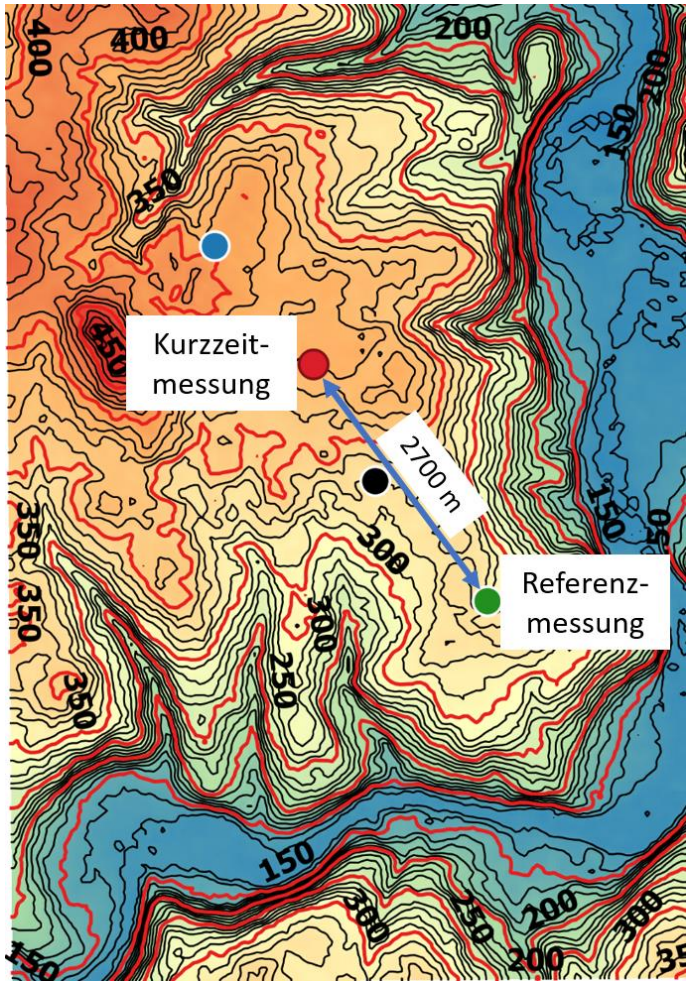


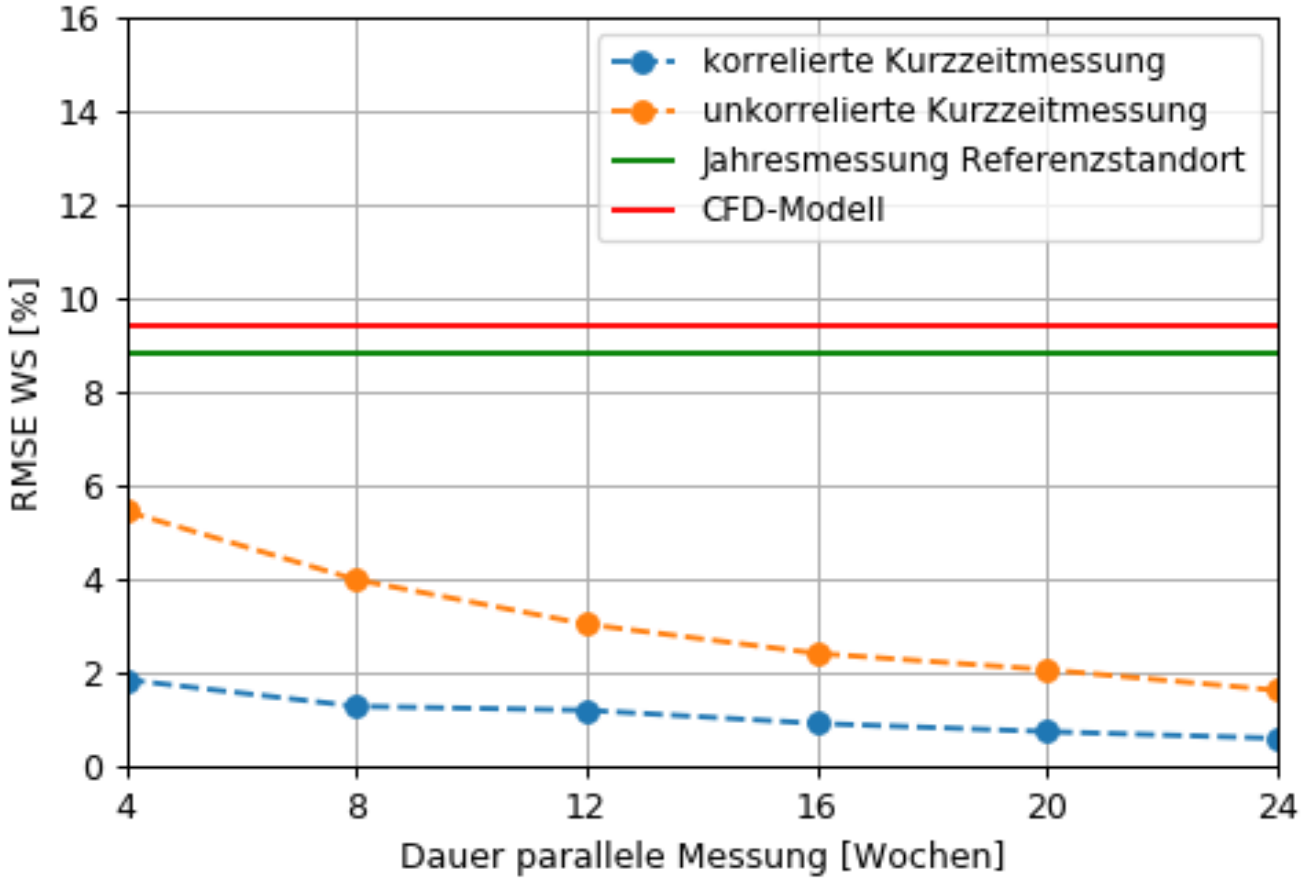


© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Abweichungen in der Windgeschwindigkeit

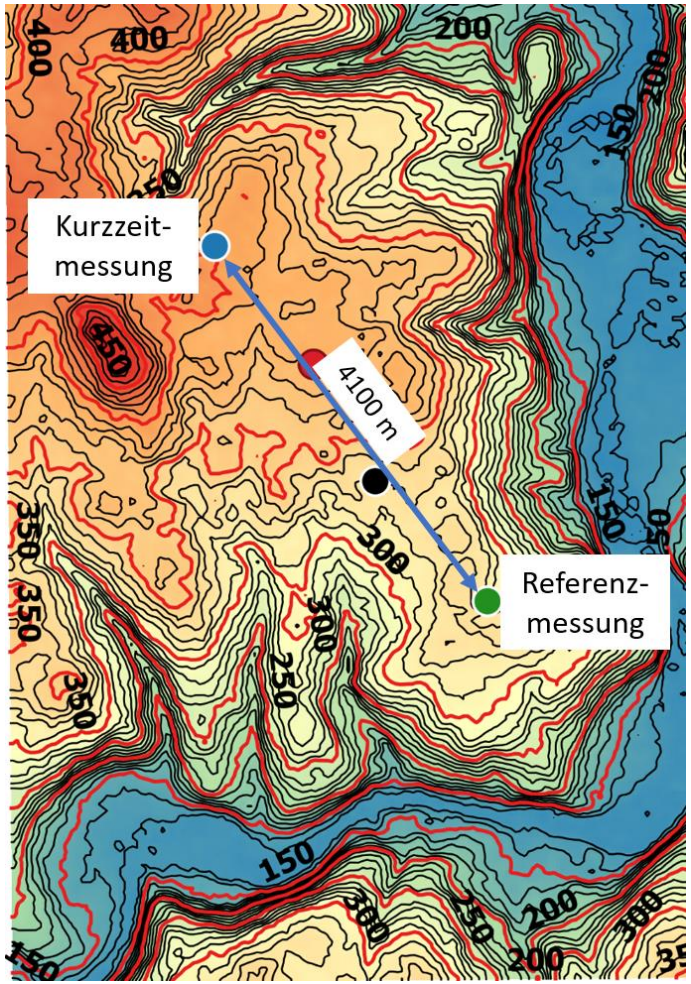


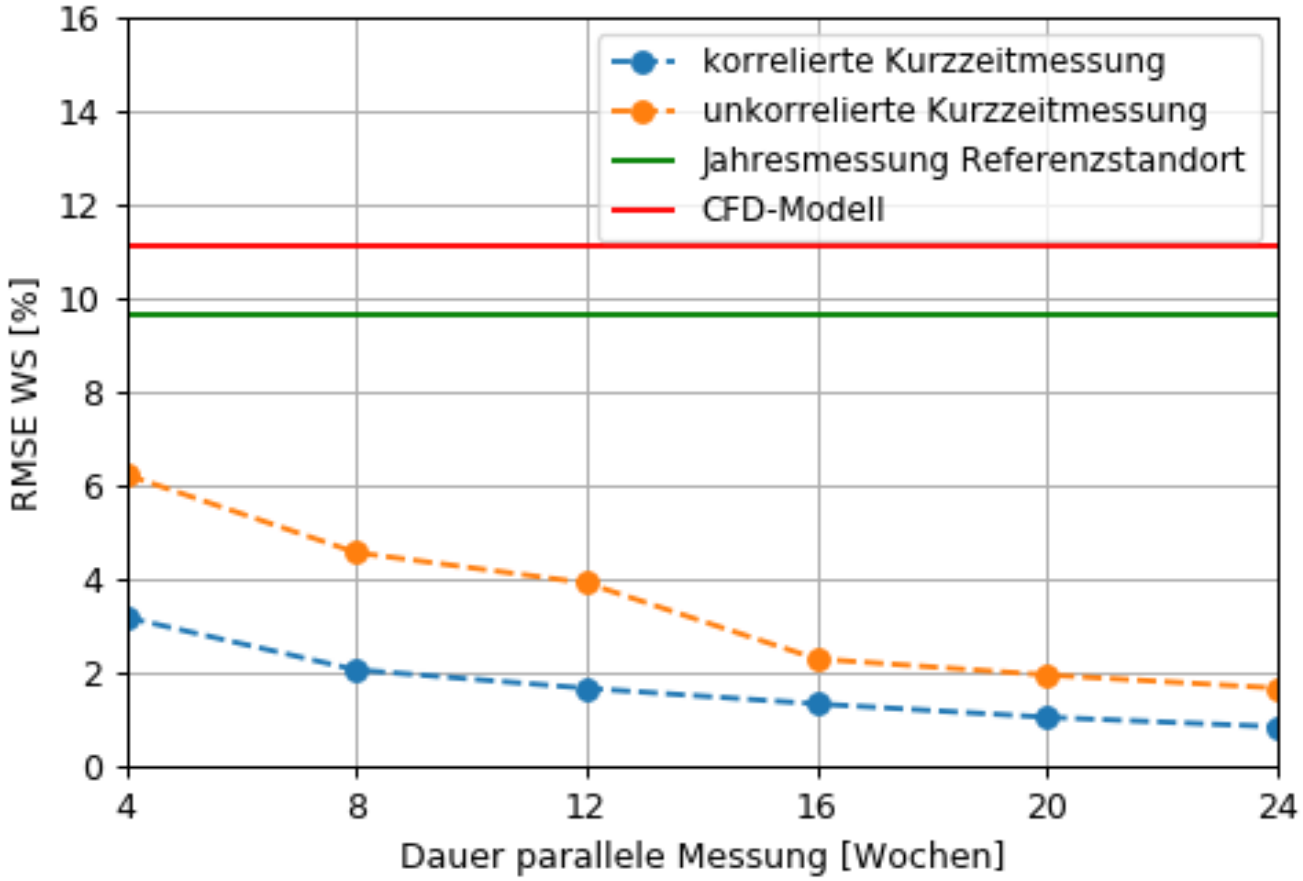


© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Abweichungen in der Windgeschwindigkeit

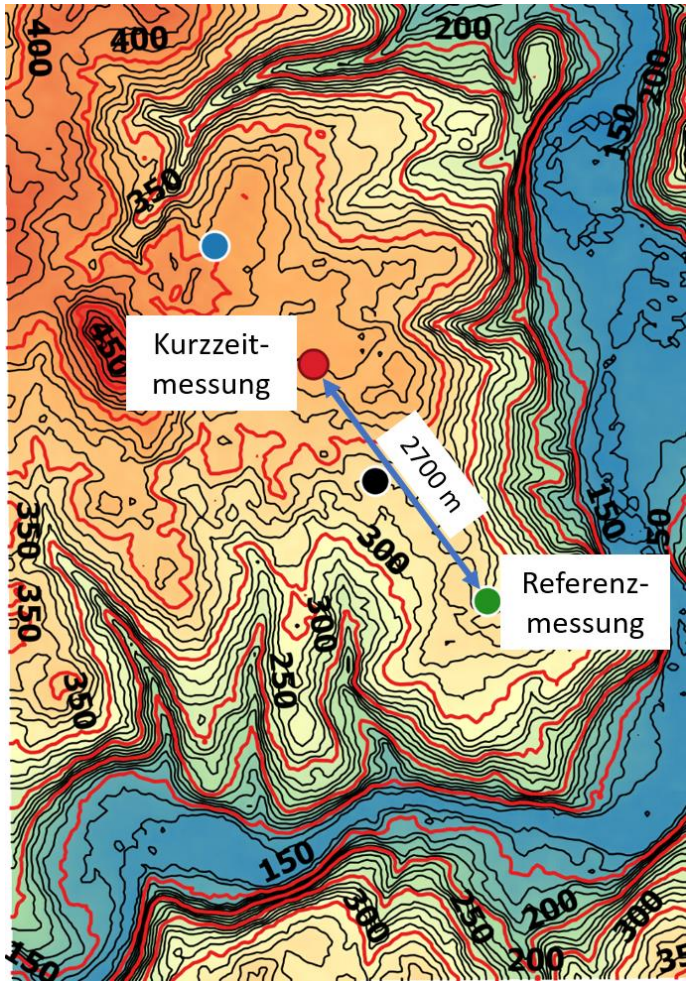


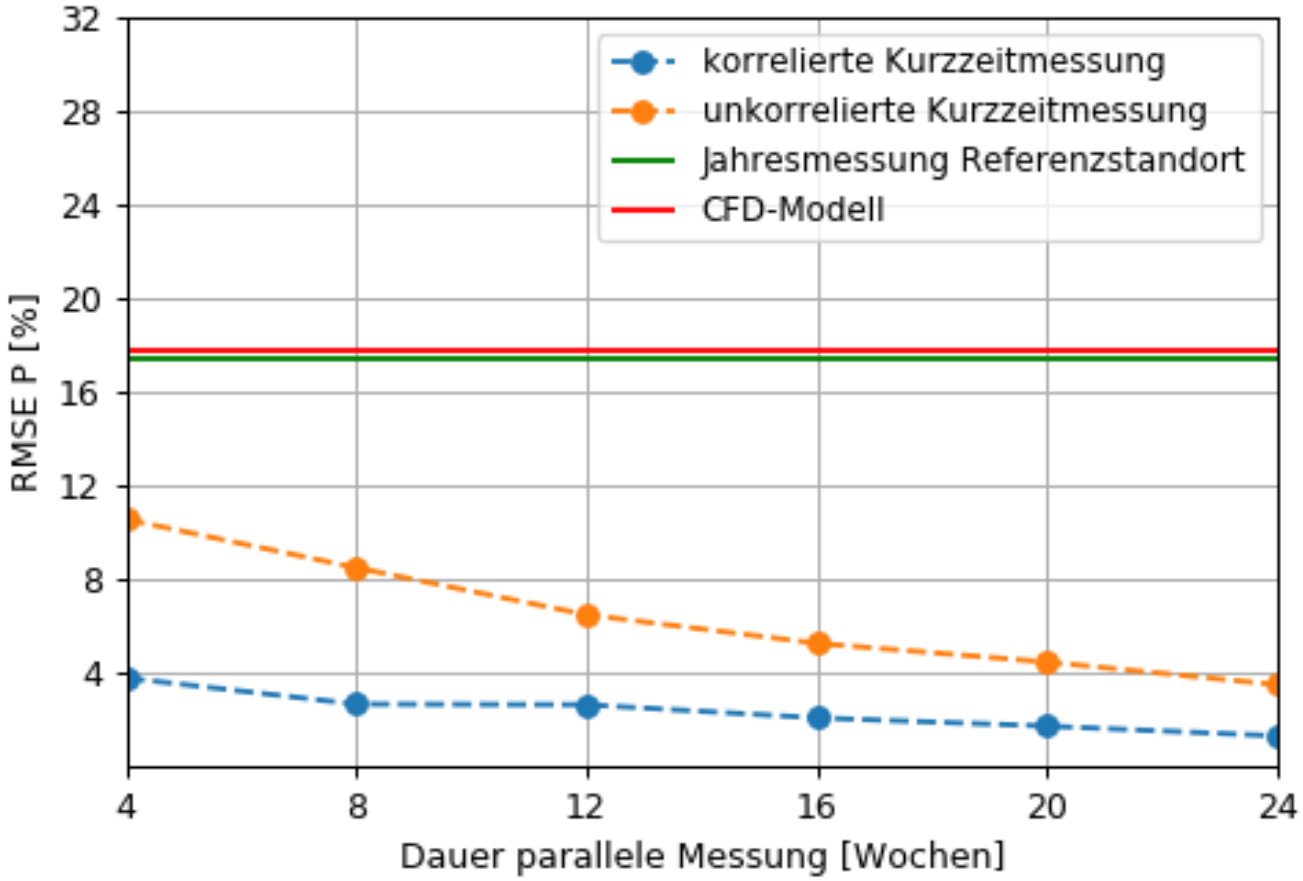


© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Abweichungen im Energieertrag

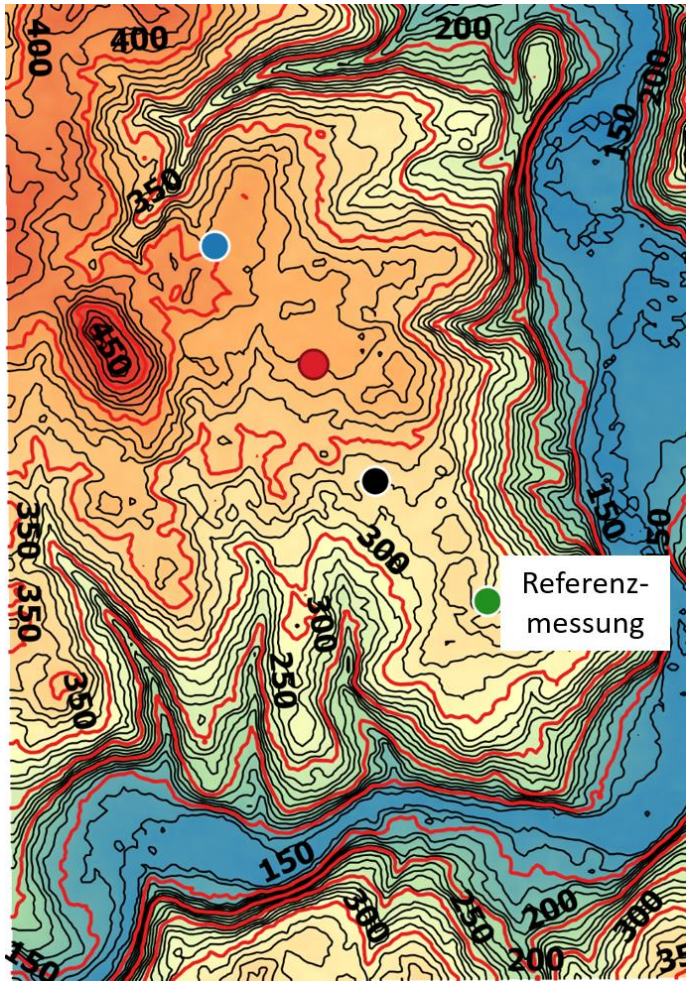


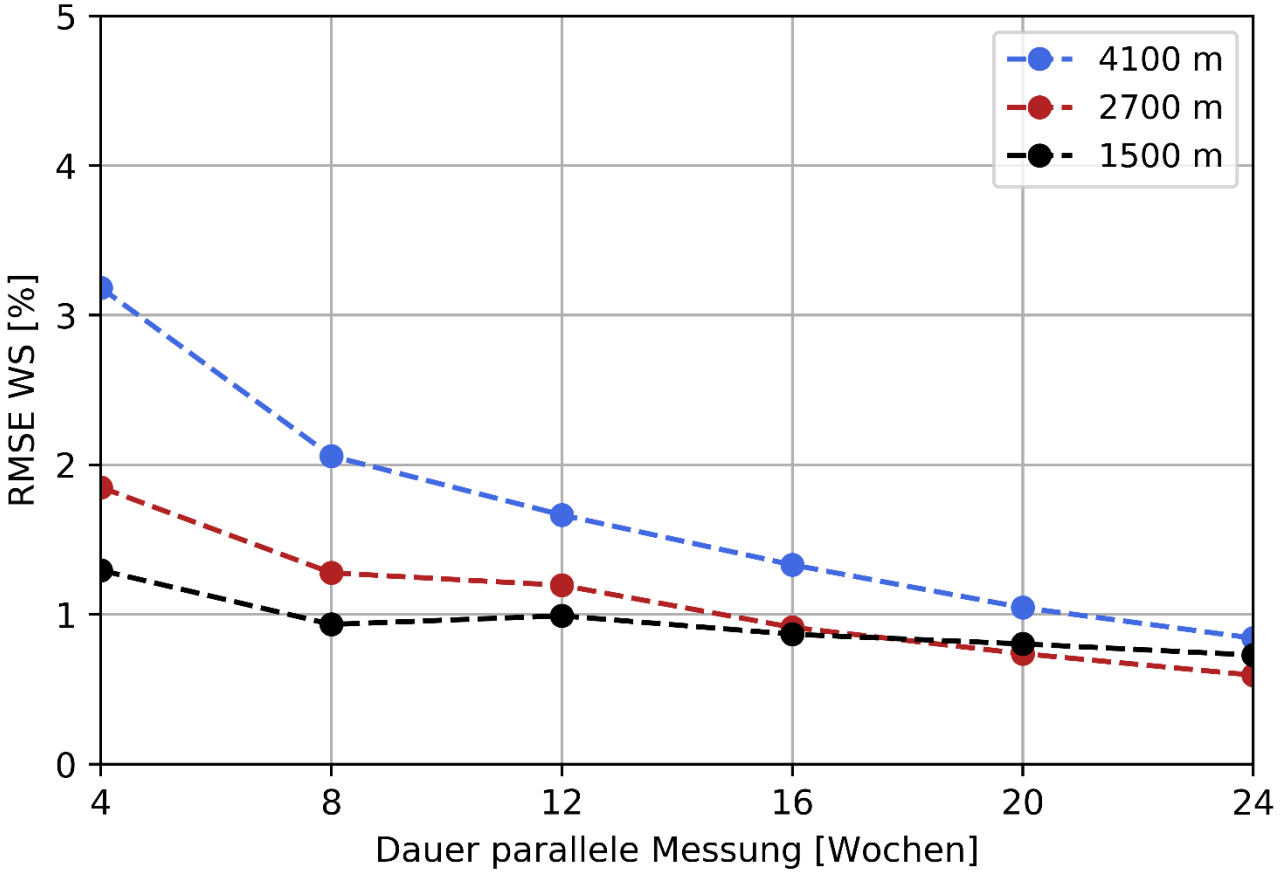


© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Entfernungsabhängigkeit korrelierte Kurzzeitmessungen

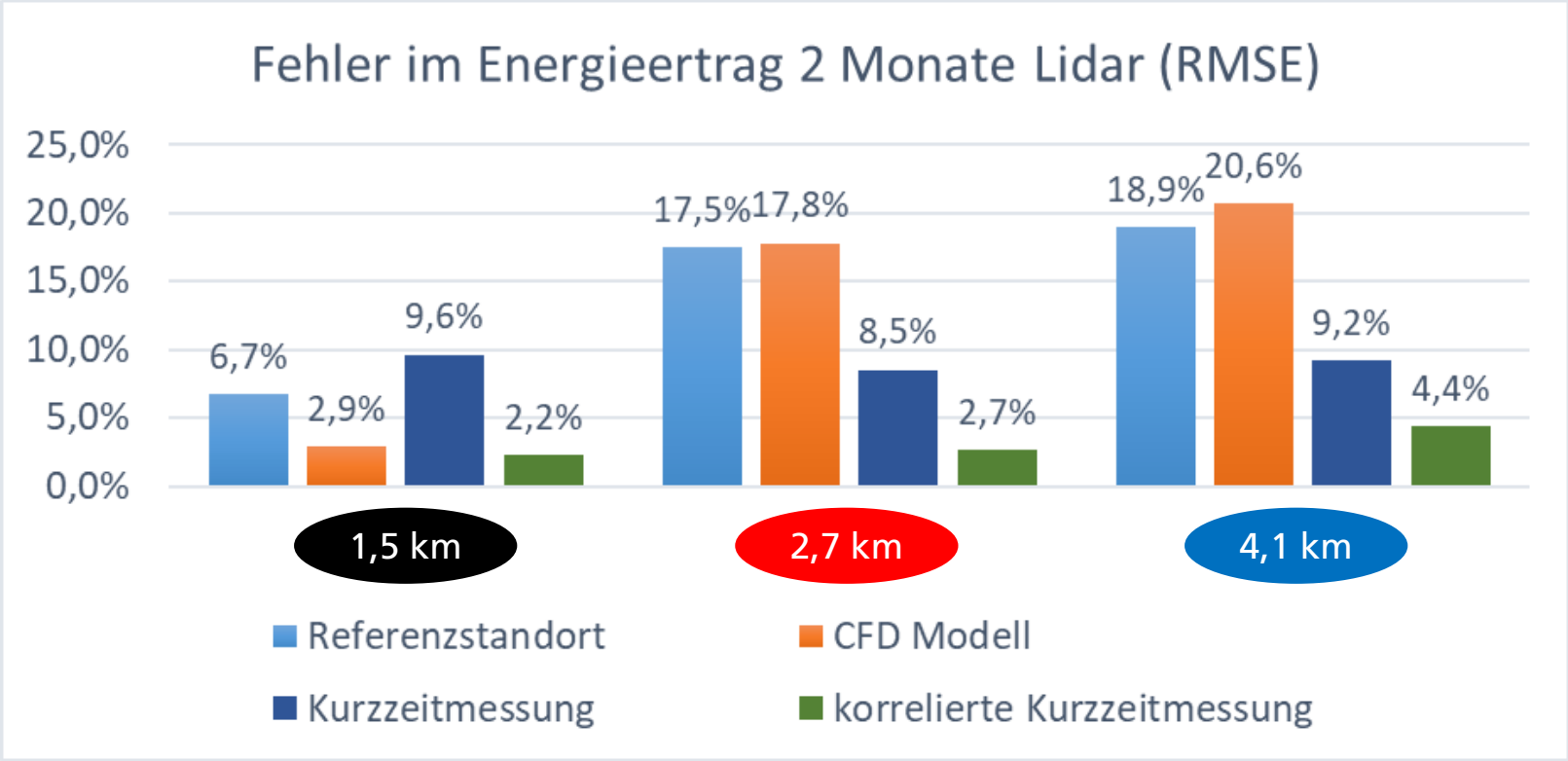




© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Lidar-Messungen an mehreren Standorten



- Kurze Lidar-Messungen an mehreren Standorten reduzieren Fehler im Energieertrag deutlich.
- Unsicherheit in der horizontalen Extrapolation wird signifikant gesenkt.

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Kurze Lidar-Messungen in der Windpotentialschätzung

- Kurze Lidar-Messungen für die Windprofilextrapolation:
  - …können die Unsicherheit signifikant reduzieren
  - …ermöglichen größere Extrapolationsdistanzen
  - …benötigen geeignete Profilkorrelation

- Kurze Lidar-Messungen für die horizontale Extrapolation der Windgeschwindigkeit im Windpark:
  - …können die Unsicherheit signifikant reduzieren
  - …benötigen geeignete Langzeitkorrelation

▶ Kosteneffiziente Reduzierung von Unsicherheiten/Projektrisiken

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Prinzip Multi-Lidar

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Prinzip Multi-Lidar

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Multi-Lidar-Projekt tuLip (seit Sommer 2018)

Ziele:

1. Verfahren zur Ableitung von Designwindbedingungen
   → Schwerpunkt: **Turbulenzintensität**

2. Verfahren zur **Optimierung des Windfarmlayouts**
   → Erhöhung der Anzahl der WEA pro Fläche und Findung optimaler WEA-Standorte

   → Reduzierung der Unsicherheit in der Windparkplanung

Fraunhofer IEE

SIEMENS Gamesa

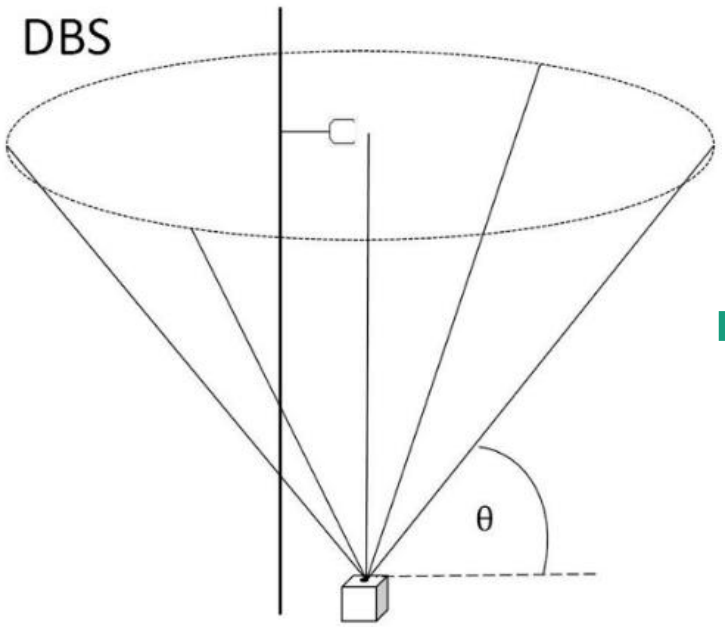
Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

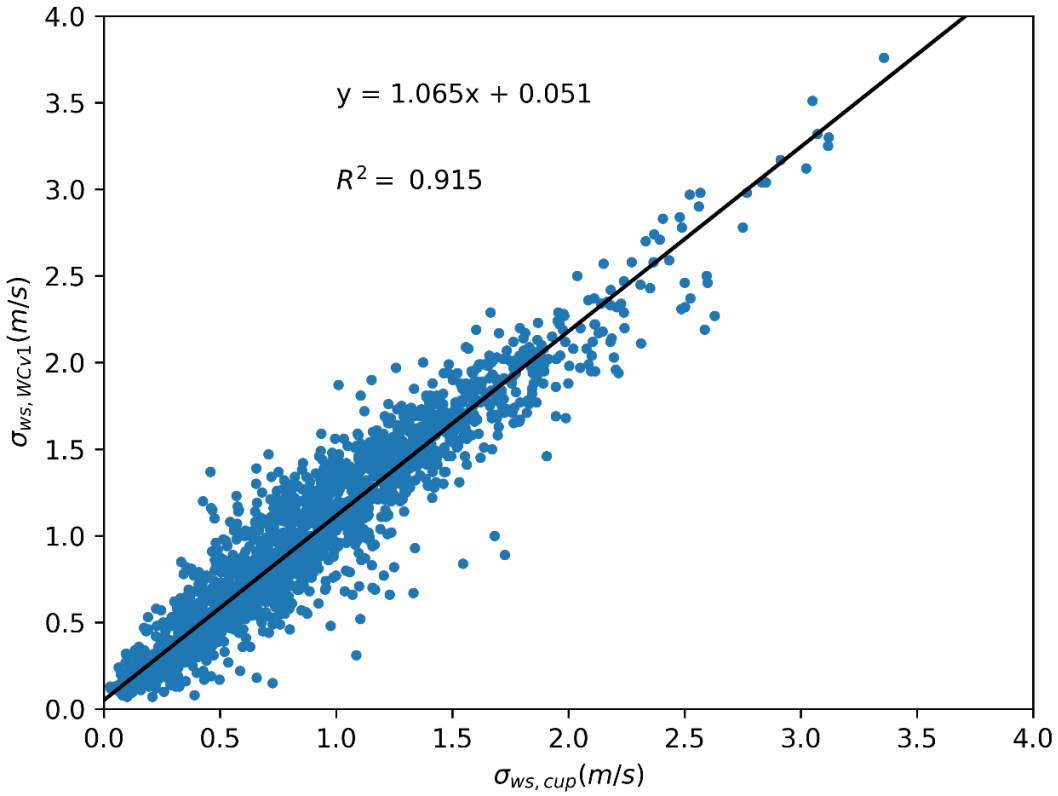
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

© Fraunhofer

Turbulenzmessungen mit Lidar



105 m - flaches Gelände

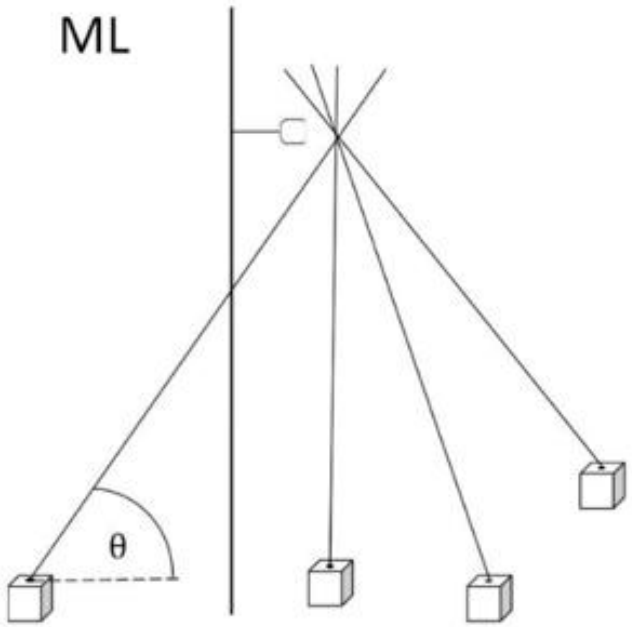


- Überschätzung der Turbulenz
- Relativ starke Streuung
- Fehler steigt mit Höhe und Geländekomplexität

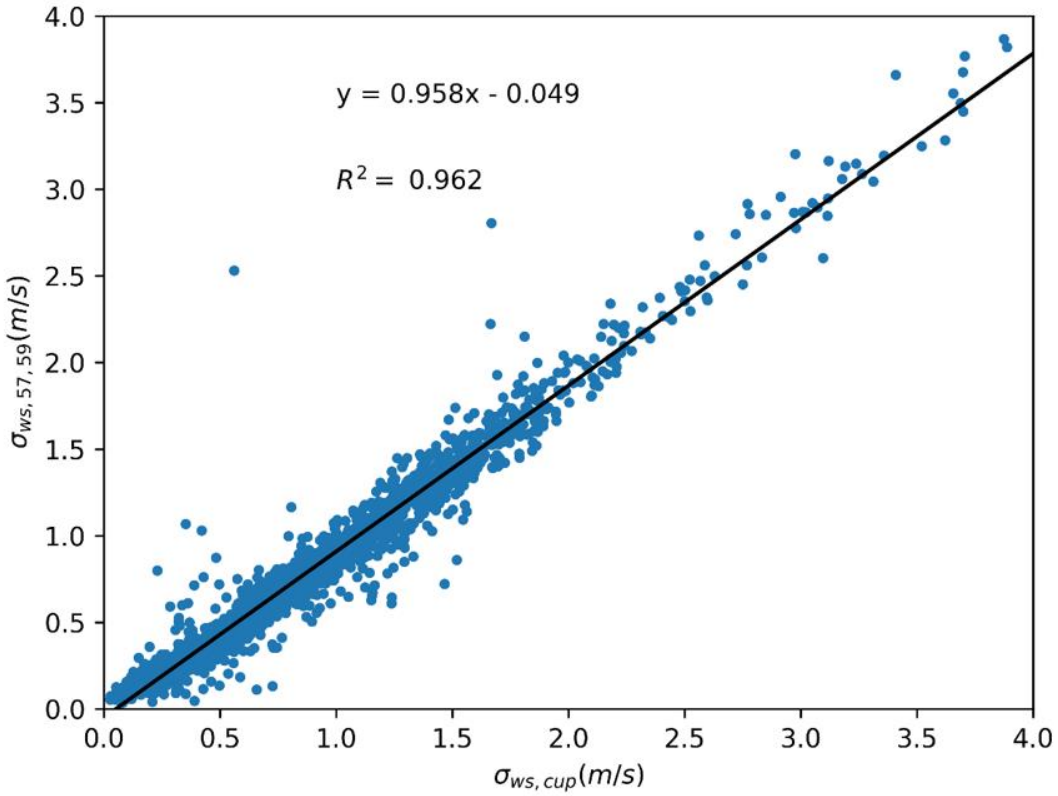
© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Turbulenzmessungen mit Multi-Lidar



105 m - flaches Gelände

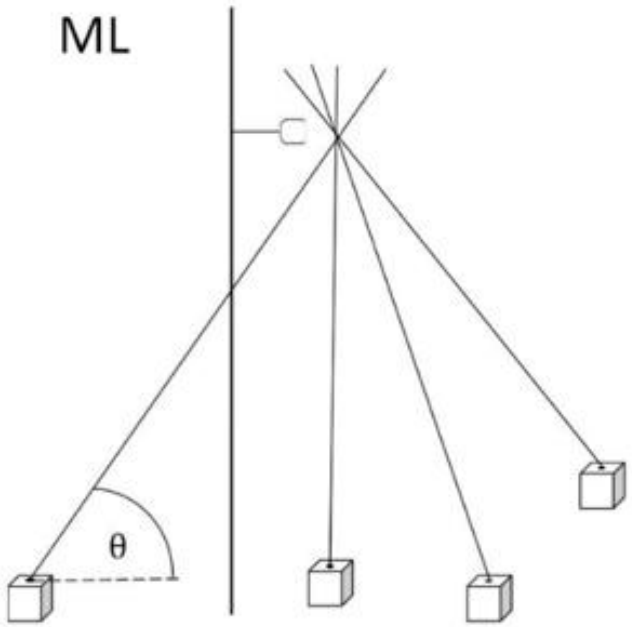


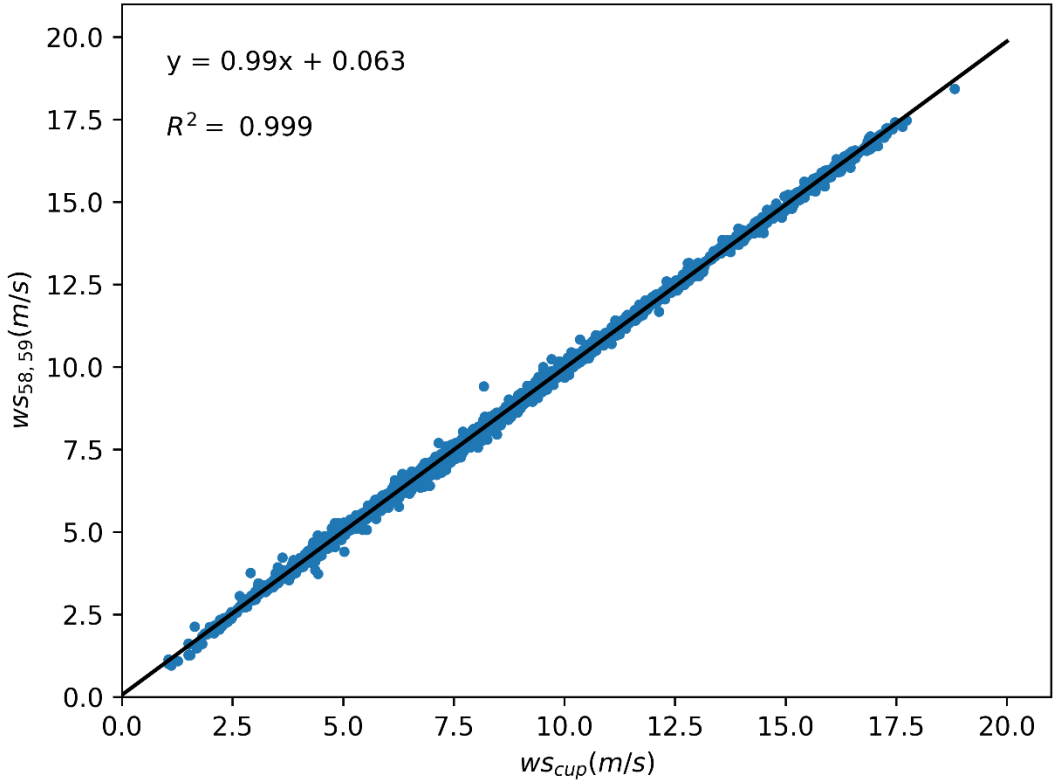
- Deutliche Verbesserung
- Unabhängig vom Gelände (Pauscher et al. 2016)

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Windgeschwindigkeit mit Multi-Lidar





- Sehr gute Übereinstimmung mit Referenz
- Kein Fehler im komplexen Gelände

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Vorteile von Multi-Lidarmessungen

- Flexible Messungen an mehreren Standorten.
- Bessere Messung der Turbulenzintensität.
- Genauere Messungen im komplexen Gelände.
- Messung auch an Standorten die schwer zugänglich sind:
  - Wald/Vegetation
  - Fehlende Zuwegung/schwieriger Zugang im komplexen Gelände
  - Near-Shore

Bessere Planung und Auslegung von Turbinen und Windparks.

© Fraunhofer

Fraunhofer IEE

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Fraunhofer
IEE

Dr. rer. nat. Lukas Pauscher

Gruppe Standortbewertung Wind

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE

Königstor 59 | 34119 Kassel
lukas.pauscher@iee.fraunhofer.de

© Fraunhofer