

# Freifeld-LiDAR-Messungen als qualifizierter Bestandteil des modernen Wind Assessments



**Engineering Services for Renewable Energies**

**Dr. Anselm Grötzner  
Senior Consultant Wind Assessment  
Head of Research & Development  
CUBE Engineering GmbH – Part of Ramboll**

## Inhalt

- Windgutachten mit LiDAR-Messungen
- Anforderungen
- Technische Richtlinie 6
- Messstrategie und Messkonzepte
- Messdauer
- Unsicherheitsbewertung

## Normen und Richtlinien

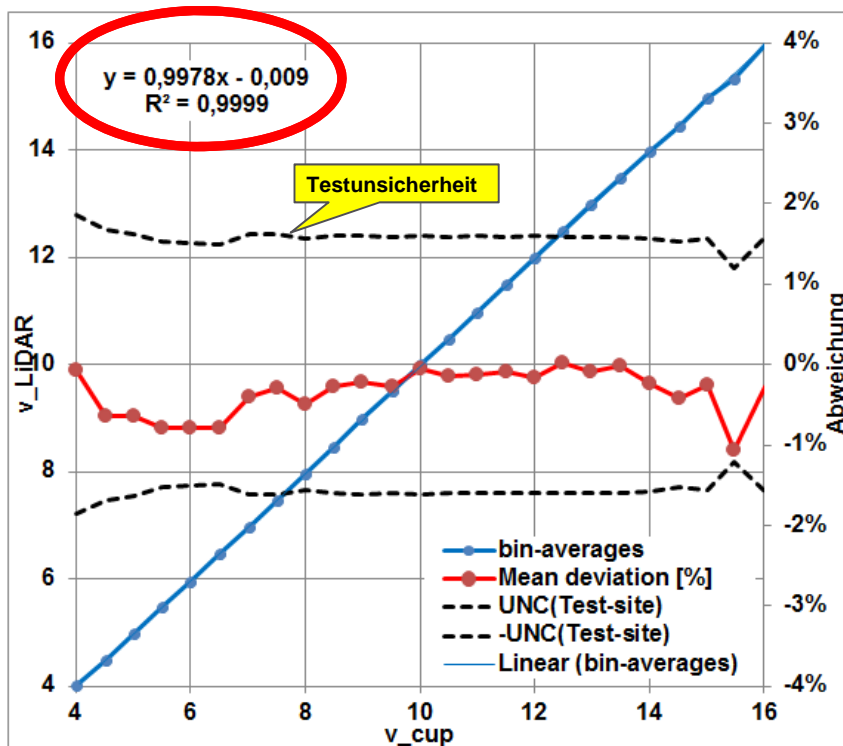
- Technische Richtlinie 6 (TR6) der FGW (Revision 9, 2014)
- IEC 61400-12-1 Ed. 2.0: Power performance measurements of electricity producing wind turbines (CDV 2015)
- IEA-Richtlinie 15: Ground-based vertically profiling remote sensing for wind resource assessment (2013)

## Technische Richtlinie 6 (Rev.9, 2014)

- LiDAR für Windgutachten zulässig
- es gelten alle grundsätzlichen Überlegungen der TR6 zu Windmessungen
- Repräsentativität und Geländekomplexität ( $\Delta x < 10$  bzw. 2km,  $\Delta z < 50\text{m}$ )
- Messdauer:
  - stand-alone: 12 Monate mit mind. 80% Verfügbarkeit
  - Zusatzmessung: alle relevanten Wetterlagen (3-6 Monate)
- Verifikation nach IEC und IEA („Kalibration“)
- Klassifikation (Sensitivitätsanalyse)
- Einsatz im komplexen Gelände (mit Korrektur)
- Referenzmast nicht erforderlich

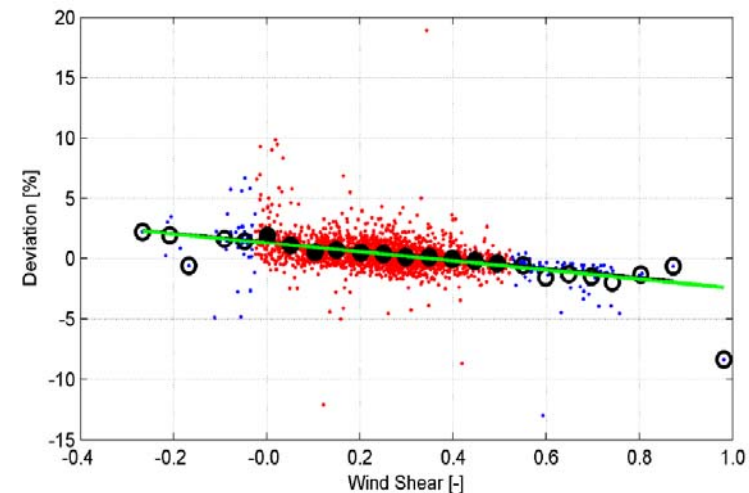
# Verifikation und Klassifikation

## LiDAR-Verifikation



## LiDAR-Klassifikation

- Abhängigkeit der Messgrößen von Umgebungsbedingungen
- Abweichende Eigenschaften von Mess- und Verifikationsort z.B. Turbulenz, Windscherung
- Zusätzliche Unsicherheit



# Standortfindung für LiDAR

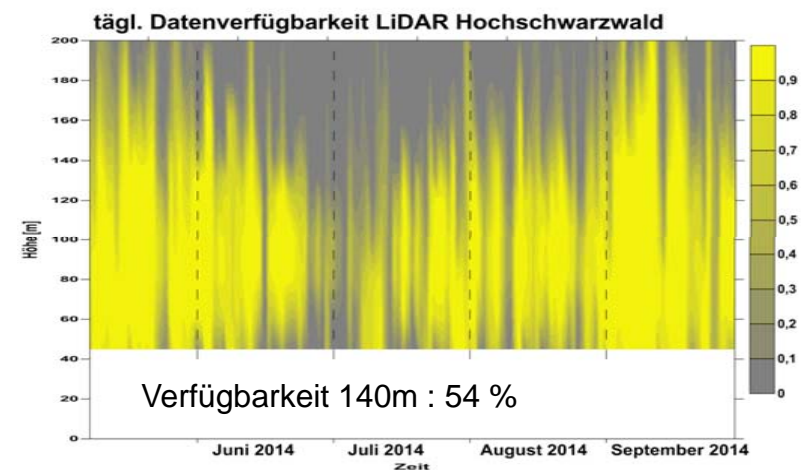
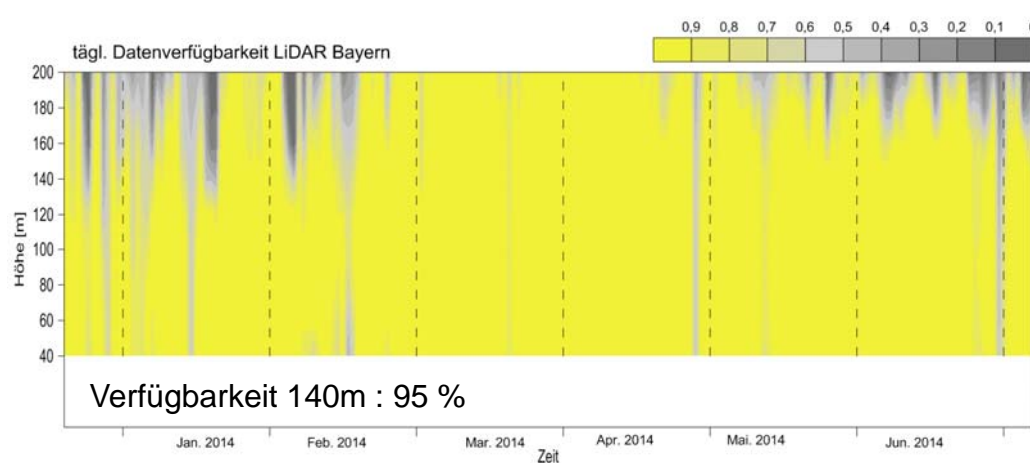
## Kriterien für die Standortwahl

- Repräsentativität für WEA
  - Windniveau
  - Geländekomplexität
  - topographische Exposition
- Minimierung des Geländefehlers
- Höhe über NN wegen Verfügbarkeit (Wolken im Mittelgebirge!)
- Grundbesitz
- Anfahrbarkeit
- Standfestigkeit
- Stromversorgung
- freies Sichtfeld
- Rodung
- Umweltaspekte (z.B. Wasser, Lärm)

# Datenverfügbarkeit

Messeinschränkungen bei:

- Nebel und Wolken
- Regen und Schnee
- geringen Aerosolkonzentrationen
- problematisch bei hoch gelegenen Standorten



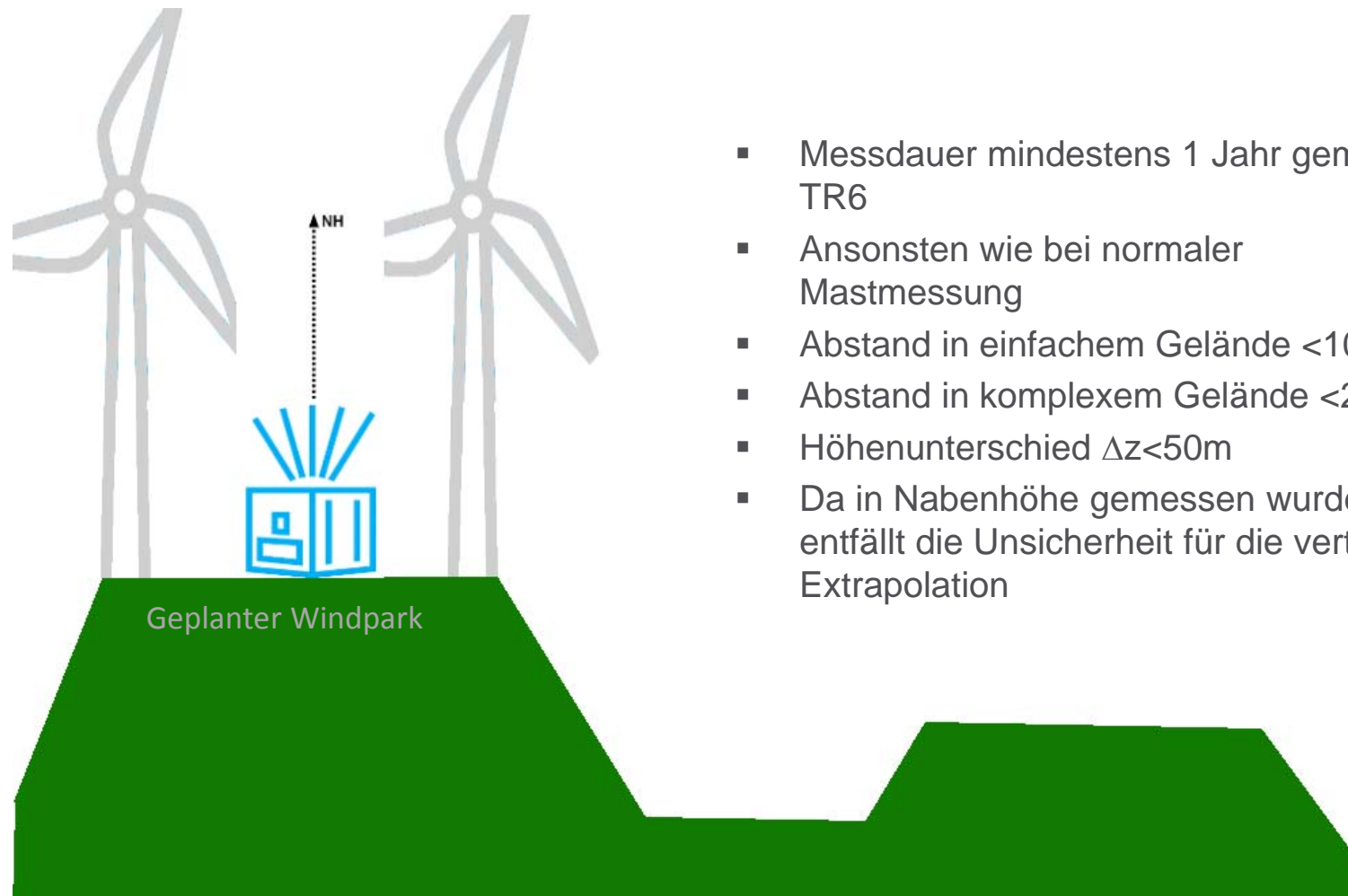
## Messstrategien nach TR6

- Zusätzliche Kosten müssen einen monetären Vorteil für die Projektentwicklung bieten
- Kostenreduktion in der Regel durch Reduktion der Unsicherheiten
- Eine Messkampagne mit LIDAR sollte so konzipiert sein, dass sie die größten Unsicherheitskomponenten im Windgutachten zu reduzieren hilft (z.B. Unsicherheit Vertikalprofil, topografische Unsicherheit)

Konzept	Verbesserung für
Vergleichs-WEA	Region
Niedrige Mastmessung (~1Jahr) am Standort	Standort
LiDAR-Messung (~1Jahr) am Standort kurzzeitiges LiDAR + entfernter Mast (12mon) zur Datenverlängerung	Wind in Nabenhöhe
Kurzzeitige LiDAR-Messung für Profil + niedriger Mast (12mon) Kurzzeitige LiDAR-Messung für Profil + Vergleichs-WEA	Vertikalextrapolation
Mehrere LiDAR für Windfeld im komplexen Gelände	Horizontalextrapolation

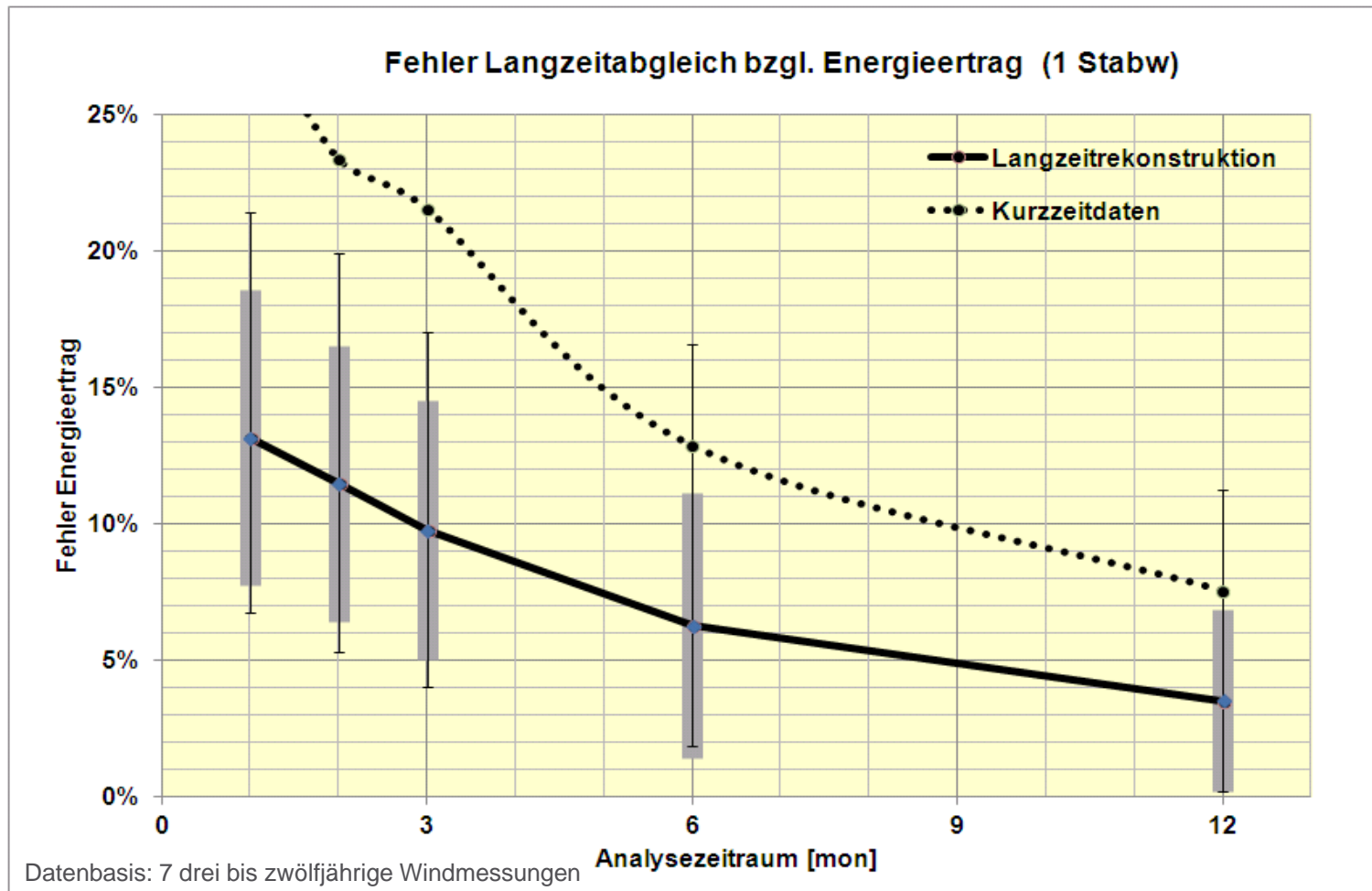


## Messstrategien: LiDAR stand-alone

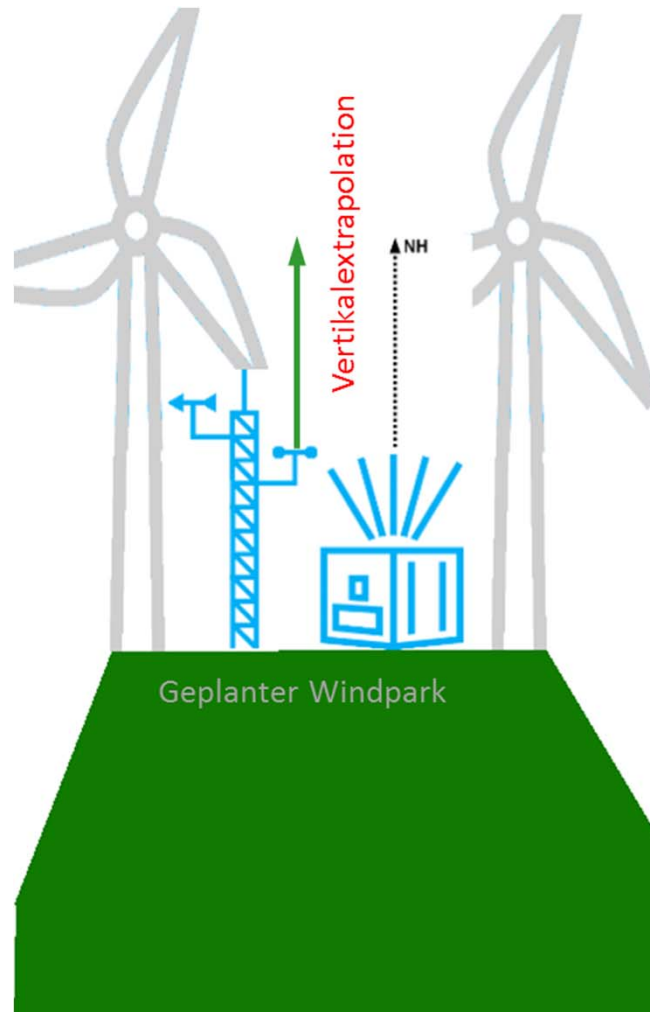


- Messdauer mindestens 1 Jahr gemäß TR6
- Ansonsten wie bei normaler Mastmessung
- Abstand in einfachem Gelände <10km
- Abstand in komplexem Gelände <2km
- Höhenunterschied  $\Delta z < 50\text{m}$
- Da in Nabenhöhe gemessen wurde entfällt die Unsicherheit für die vertikale Extrapolation

# Messdauer bei stand-alone Messungen: Unsicherheit beim Langzeitabgleich



# Messstrategien: LiDAR + niedriger Messmast I



- Zweck: Verbesserung der Genauigkeit, wenn geplante WEA sehr viel höher als die Mastmessung sind
- Mastmessung (mind. 1 Jahr) liefert Zeitreihe
- LiDAR-Messung für alle relevanten Wetterlagen (3-6 Monate) liefert Vertikalgradient

$$\text{z.B. } v_{NH}(t) = v_{Mast}(t) \cdot \left( \frac{z_{NH}}{z_{Mast}} \right)^{\alpha_{LiDAR}}$$

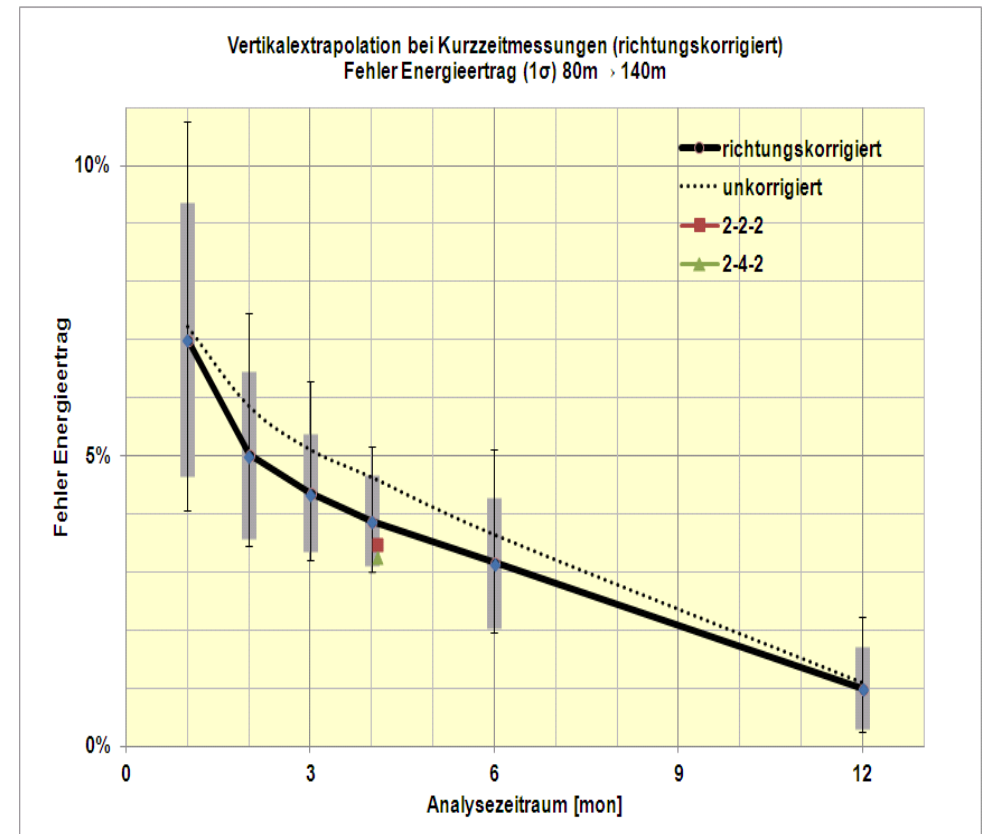
# Messstrategien: LiDAR + niedriger Messmast I

## Unsicherheit des Vertikalgradienten

- Saisonalität des Vertikalgradienten (groß im Winter, klein im Sommer)
- TR6: „alle wichtigen Wetterlagen ausreichend berücksichtigen, meist 3-6 Monate ausreichend

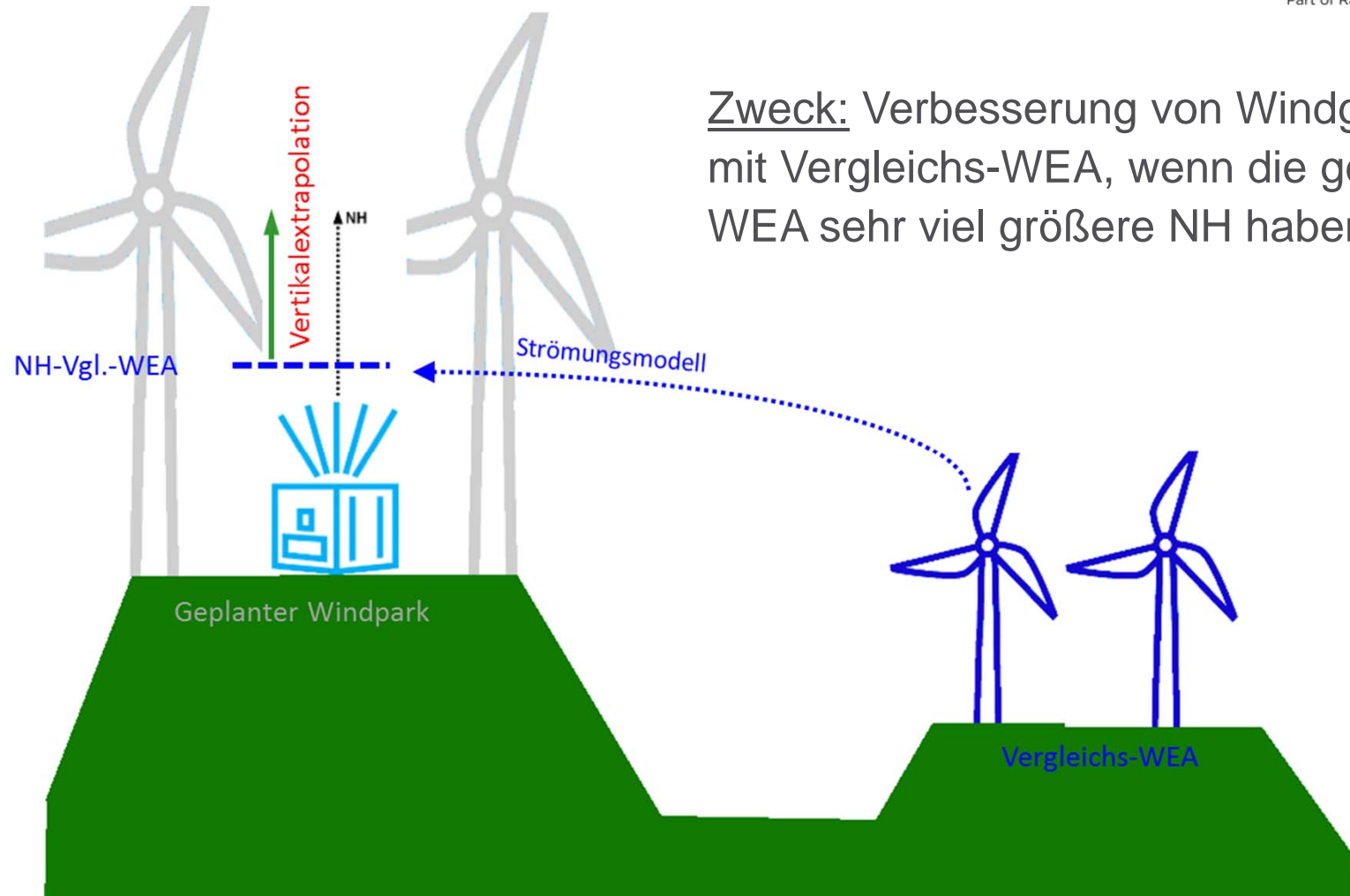
### Eigene Erfahrung:

- 6 Monate in der Regel ausreichend
- 3 Monate in Übergangsjahreszeiten meist ausreichend
- 3 Monate Winter bzw. Sommer sehr unsicher !!!
- Unsicherheiten: UNC der WM + UNC des LiDAR-Gradienten (Verifikation, Messdauer)



Datenbasis: sieben 125-140 m hohe Windmessungen

# Messstrategien: LiDAR + Vergleichs-WEA



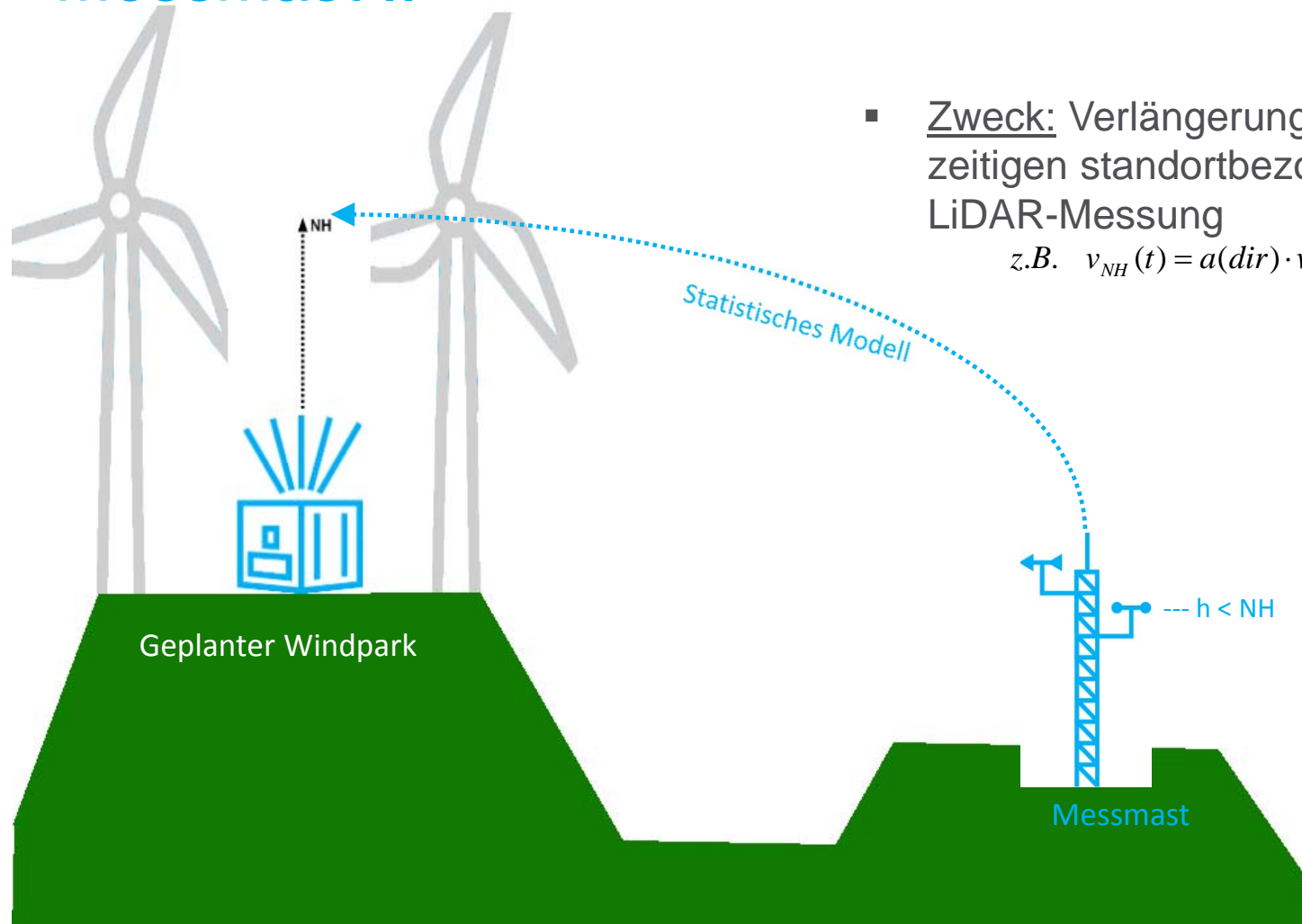
Zweck: Verbesserung von Windgutachten mit Vergleichs-WEA, wenn die geplanten WEA sehr viel größere NH haben

# Messstrategien: LiDAR + Vergleichs-WEA



- Vergleichs-WEA liefern das Langzeitklima in niedriger Höhe
- Übertragung auf Standort mit Strömungsmodell (z.B. WAsP)
- LiDAR liefert die Vertikalextrapolation auf Nabenhöhe
- LiDAR-Messung muss am Standort des Gutachtens durchgeführt sein
- Gemessener Vertikalgradient muss langzeitrepräsentativ sein (>6Monate)
- Unsicherheiten:     UNC der Vgl. WEA  
                          + UNC Modell  
                          + UNC des LiDAR-Gradienten (Verifikation, Messdauer)
  
- In dieser Auswertevariante verbessert das LiDAR nur die Vertikalextrapolation. Es bringt aber keine Verbesserung, wenn die Vgl.-WEA aus anderen Gründen nicht ausreichend repräsentativ sein sollten

# Messstrategien: LiDAR + niedriger Messmast II



- Zweck: Verlängerung einer kurzzeitigen standortbezogenen LiDAR-Messung

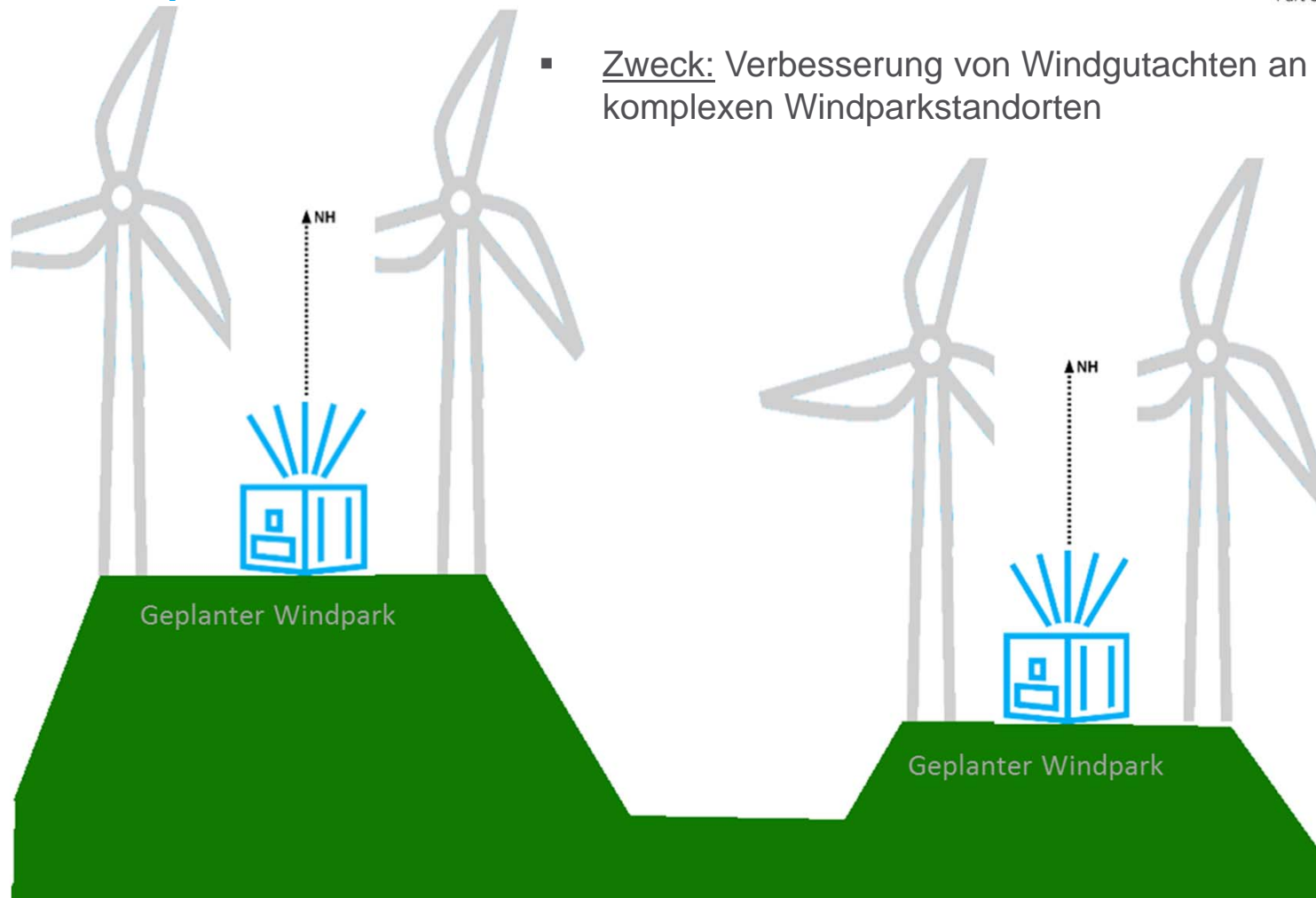
z.B.  $v_{NH}(t) = a(dir) \cdot v_{Mast}(t) + b(dir)$





# Messstrategien: Mehrere LiDARs im Windpark

- Zweck: Verbesserung von Windgutachten an komplexen Windparkstandorten



# Messstrategien: Mehrere LiDARs im Windpark



- An horizontal komplexen Standorten ist es sinnvoll, dass LIDAR kurzzeitig an verschiedenen Positionen einzusetzen um die horizontalen Variationen zu erfassen
- An jeder Position müssen alle relevanten Wetterlagen erfasst werden (3-6Monate) !!!
- Zeitlich mehrfaches versetzen ist sinnvoll, damit an jedem Messort alle relevanten Windbedingungen erfasst werden.

## Varianten

- Mehrere stand-alone Lidars (Messung auf NH ~1Jahr)
- Stand-alone Lidar (Messung NH ~1jahr) + wandernde Kurzzeitlidars (NH, <<1Jahr)
- Mastmessung „stand-alone“ (Messung <<NH, ~ 1jahr) + wandernde Kurzzeitlidars (NH, <<1Jahr)
  
- Unsicherheiten wie bei „LiDAR + niedriger Messmast II“



Danke für Ihre Aufmerksamkeit !



Contact: Dr. Anselm Grötzner  
CUBE Engineering GmbH – Part of Ramboll  
Breitscheidstr. 6  
34119 Kassel  
[a.groetzner@cube-engineering.com](mailto:a.groetzner@cube-engineering.com)  
[www.cube-engineering.com](http://www.cube-engineering.com)