SMART BLADE®

THERE IS ALWAYS ROOM FOR IMPROVEMENT

Nachweis von Leistungssteigerungen an WEAs

SMART BLADE®

FIRMENVORSTELLUNG

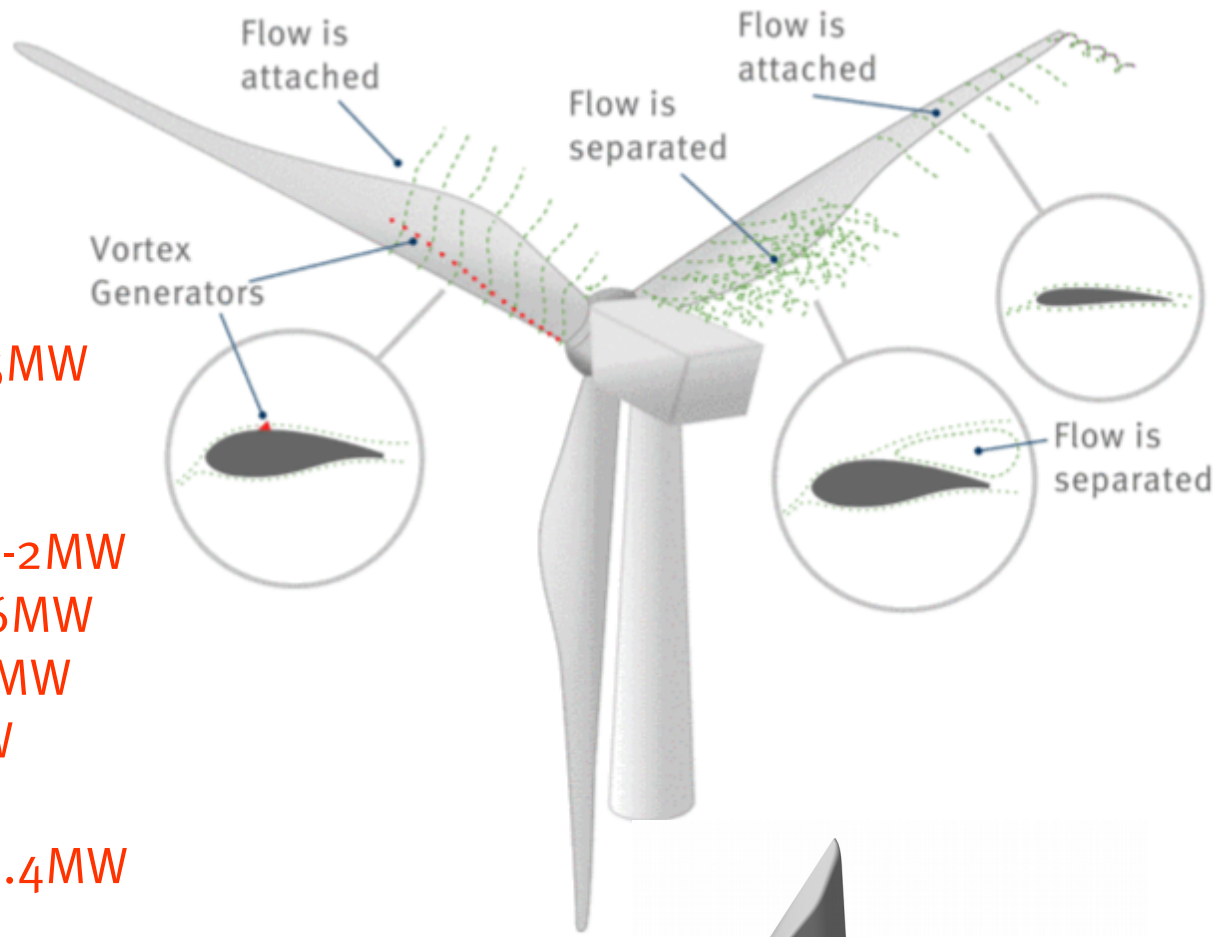
SMART BLADE ist ein Ingenieursbüro aus Ravensburg/Berlin.

Kernkompetenz rund um die Aerodynamik des Rotorblatts.

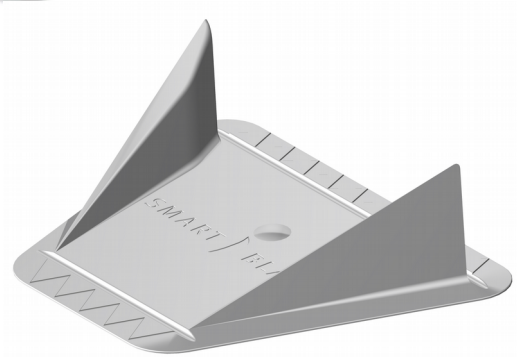
Wir bieten aerodynamische Upgrades für das Rotorblatt.

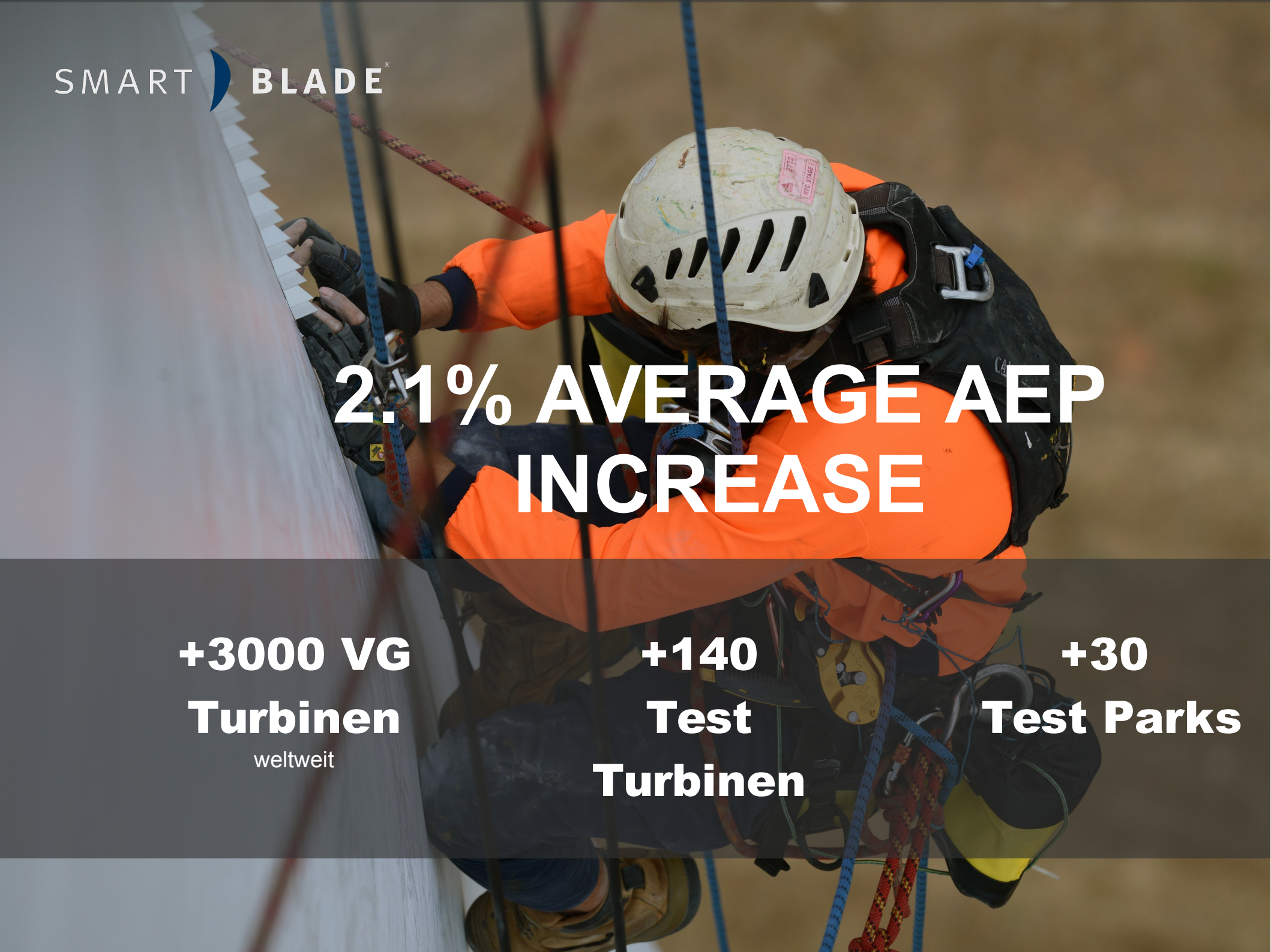
Vortex Generatoren, Spoiler, Serrations

VG Lösungen für viele Turbinen-Typen



Acciona	AW77-1.5MW	AW82-1.5MW	
Clipper	C89/C93/C96-2.5MW		
EWT	DW61-0.9MW		
Gamesa	G80/83-2MW	G87/G90-2MW	
GE	1.5s/sl-1.5MW	1.6xle-1.6MW	
	1.85-82-1.85MW	2.5xl-2.5MW	
GoldWind	G82-2MW	G87-2MW	
Nordex	N100-2.5MW		
Mitsubishi	1000A-1MW	MHI2.4-2.4MW	
Senvion	MM92-2MW		
Suzlon	S88-2MW		
Vestas	V82-1.65MW	V80-1.8/2MW	V90-2MW
Vensys	Vensys-1.5MW	Vensys 100-2.5MW	
W2E	W2E-93-2MW		





SMART BLADE®

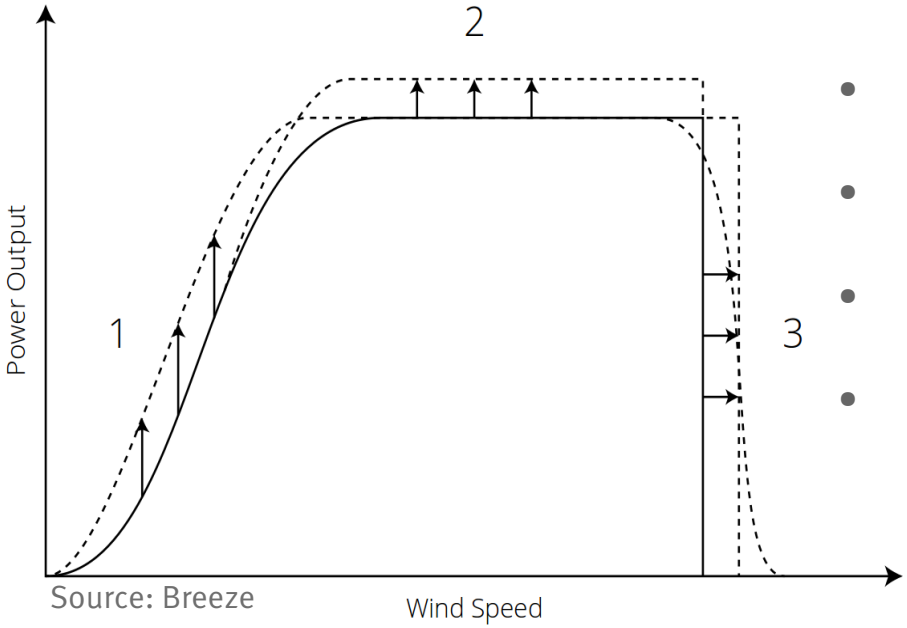
2.1% AVERAGE AEP INCREASE

+3000 VG Turbinen
weltweit

+140 Test Turbinen

+30 Test Parks

Verschiedene leistungssteigernde Upgrades



Source: Breeze

- Controller Upgrade (pitch, yaw, variable speed)
- Aerodynamische Optimierung
- Offset-Kalibrierung (pitch/yaw misalignment)
- Standort-Tuning

Möglichkeiten?

Zuverlässigkeit?

Kosten?

Nutzen?

Beweis!?

Erster intuitiver Ansatz

~~*“Leistungskurve (mit Gondelanemometer) der Test-Turbine vor und nach dem Upgrade vergleichen”.*~~

- *Das Gondel-Anemometer wird durch das Upgrade beeinflusst.*
- *Absolute Genauigkeit der Leistungskurven liegen im einstelligen %-Bereich.*
- *Absoluter Vergleich über zwei verschiedene Zeiträume.*

Leistungsänderung hat Einfluss auf das Gondel-Anemometer

IEC 61400-12-2 **Annex C** (normative)

Nacelle wind speed transfer function validity procedure

The transfer function can be significantly affected by turbine hardware and control. This Annex describes the criteria that need to be checked to assess if a transfer function measured at one turbine can be applied to another. The criteria in this Annex refer to a comparison of a measurement of a NTF on one turbine and the application of the NTF on another turbine (or the same turbine at a later date). The following shall be checked that they are identical within limits given before the test is started:

C.1 Measurement procedure:

The averaging time the data points are based on to calculate the transfer function shall be the same as the averaging time the data points are based on to calculate the nacelle power curve.

C.2 Terrain class and slope:

The terrain class when the NTF was established shall be the same as the terrain class when the NTF will be applied, unless the NTF is measured in the same wind farm as where it is applied in which case the terrain class may vary by ±1.

The sign of slope of the 10° sectors in the measurement sector shall be compared as well; a positive slope cannot be mixed with a negative slope. In case the measurement sector contains both positive and negative slopes the test engineer shall proceed with caution.

The sign of the slope of the terrain in the measurement sector when the NTF was established shall be the same as the sign of the slope of the terrain in the measurement sector when the NTF will be applied.

C.3 Measurement hardware:

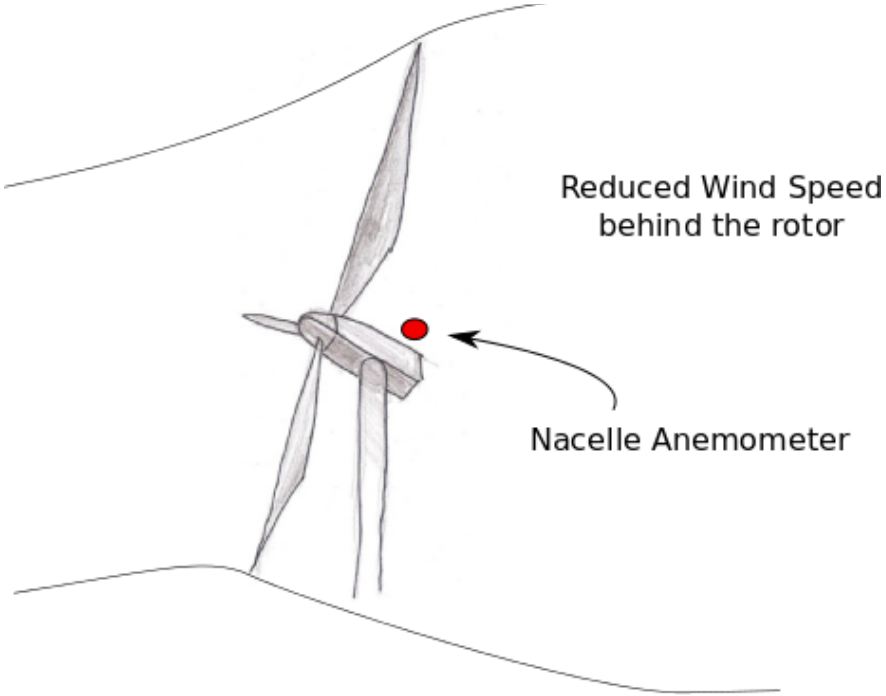
a) anemometer and vane type;
b) anemometer and vane location (relative to the mounting structure) within 5 mm;
c) Location of anemometer, vane and mounting structure on the nacelle within 100 mm.

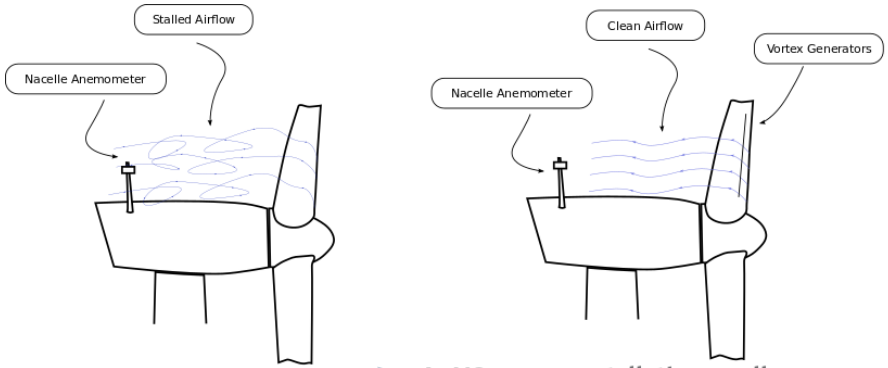
C.4 Other turbine hardware:

a) the blade type, including aerodynamic devices mounted on the blade;
b) nacelle shape, within 100 mm;
c) the size and location of equipment mounted on the nacelle (such as aviation lights); location within 100 mm.

C.5 Turbine controls:

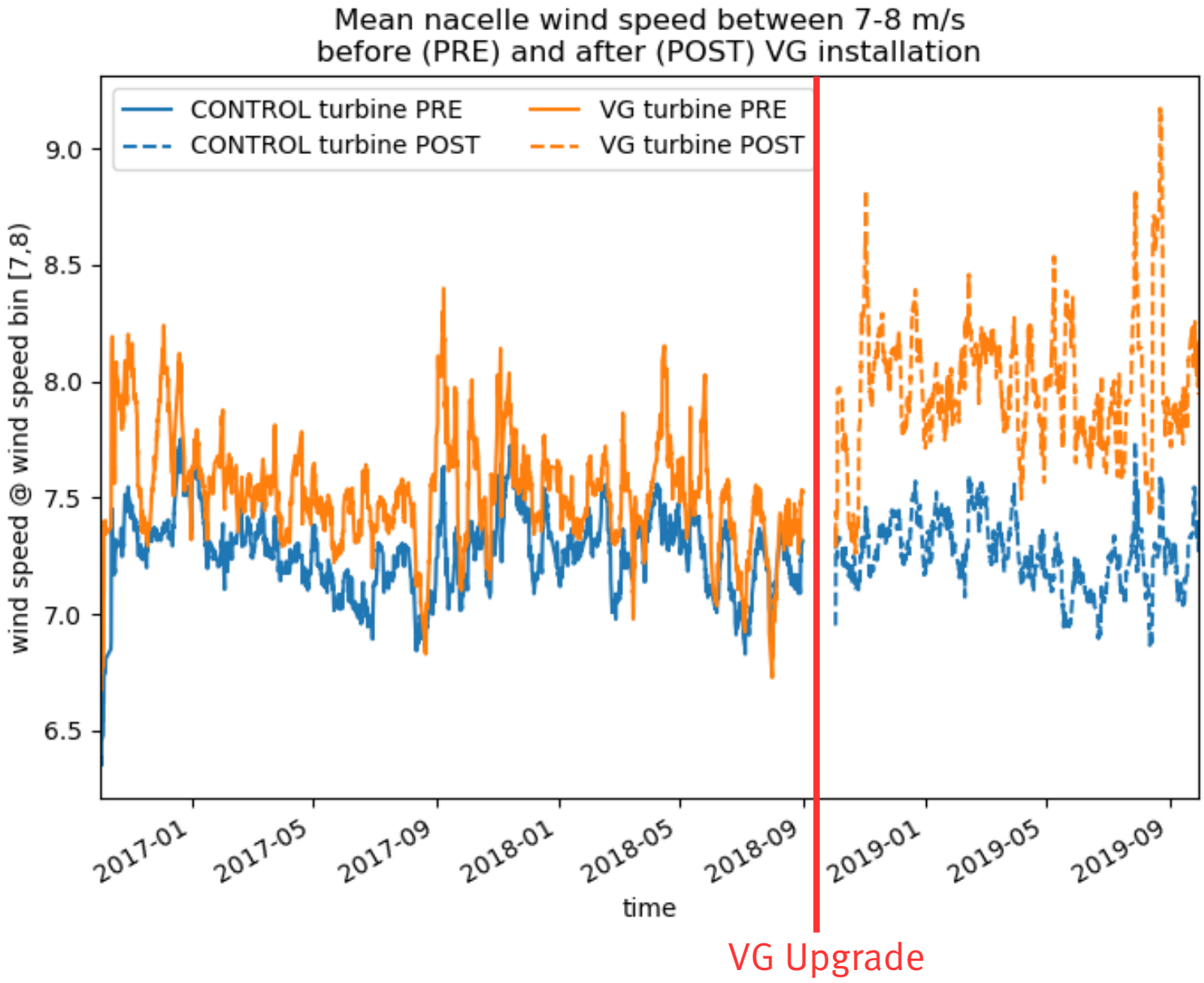
a) the control software and version to the extent that the changes significantly affect the power performance of the turbine as estimated by the manufacturer;
b) all (changes to) parameters related to control of pitch, yaw, rotational speed, power and any other parameters to the extent that (changes to) these parameters significantly affect





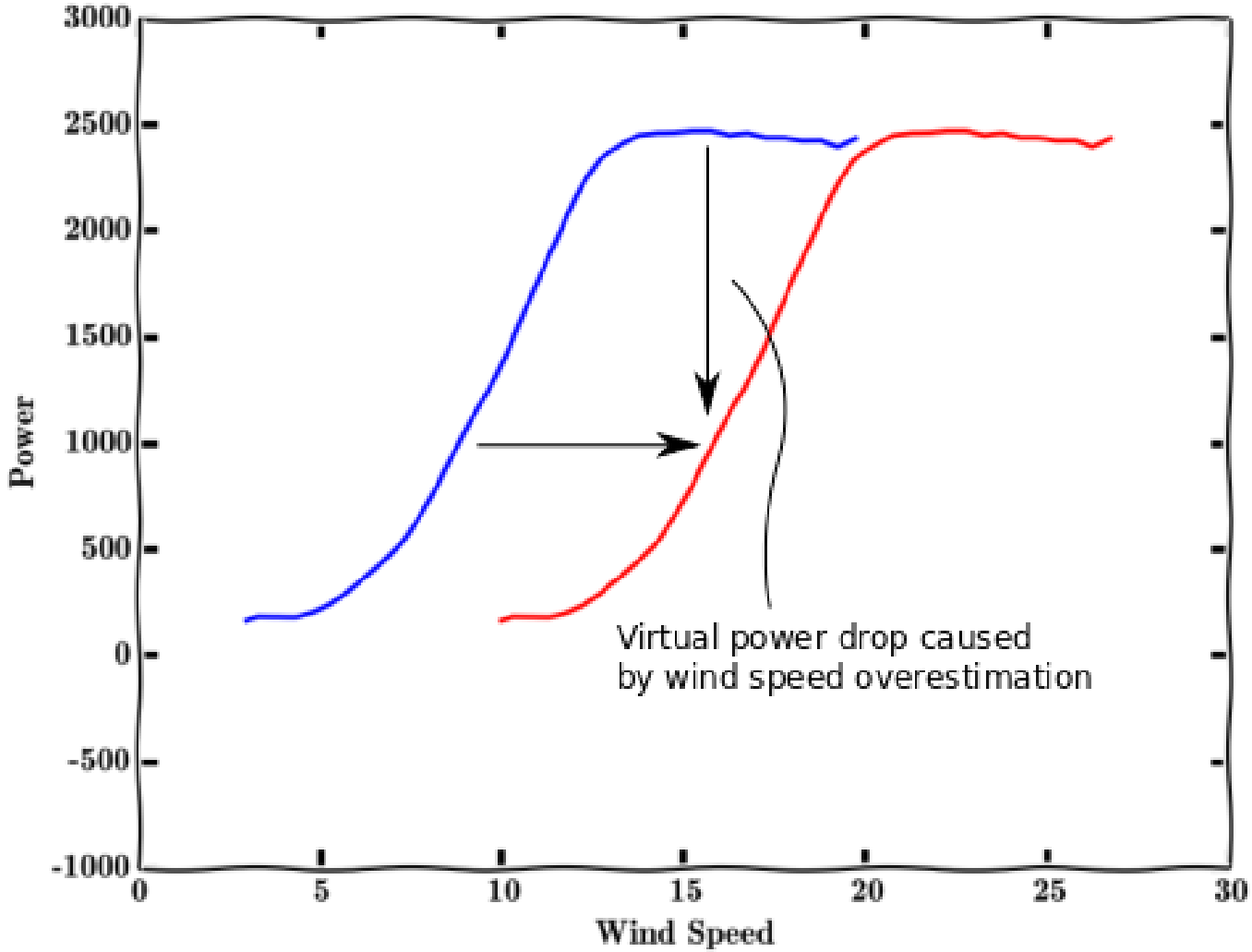
As VGs remove stall, the nacelle anemometer of the VG turbine MEASURE higher wind speeds. Hence the anemometer data need to be corrected!

Fallbeispiel 1: Einfluss der VGs auf das Gondel-Anemometer



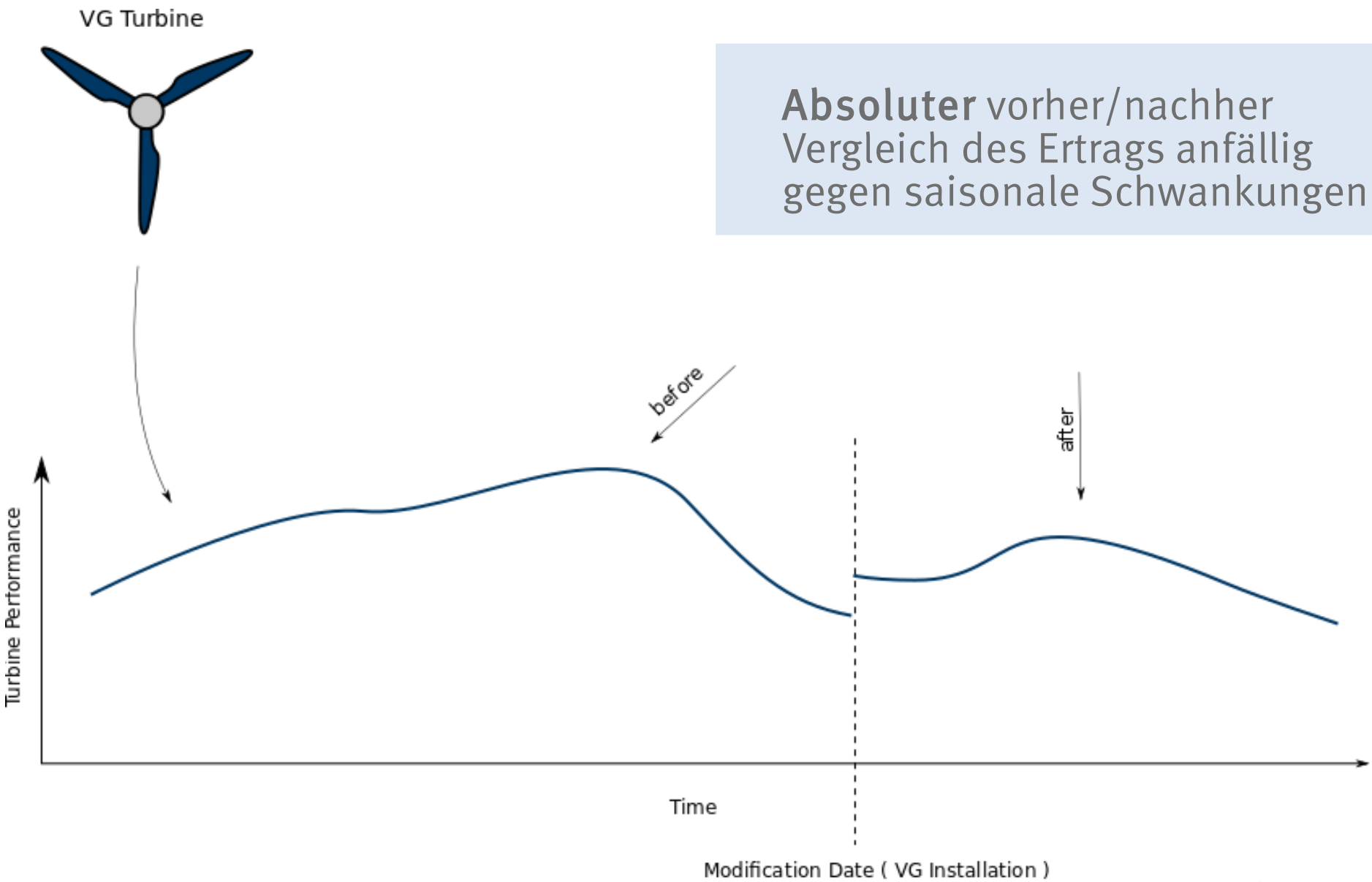
SMART BLADE

Virtuelle Verbesserung/Verschlechterung der Leistungskurve



Leistungskurven-Vergleich funktionieren nur mit externem Anemometer (i-Spin, LIDAR, Met-mast)

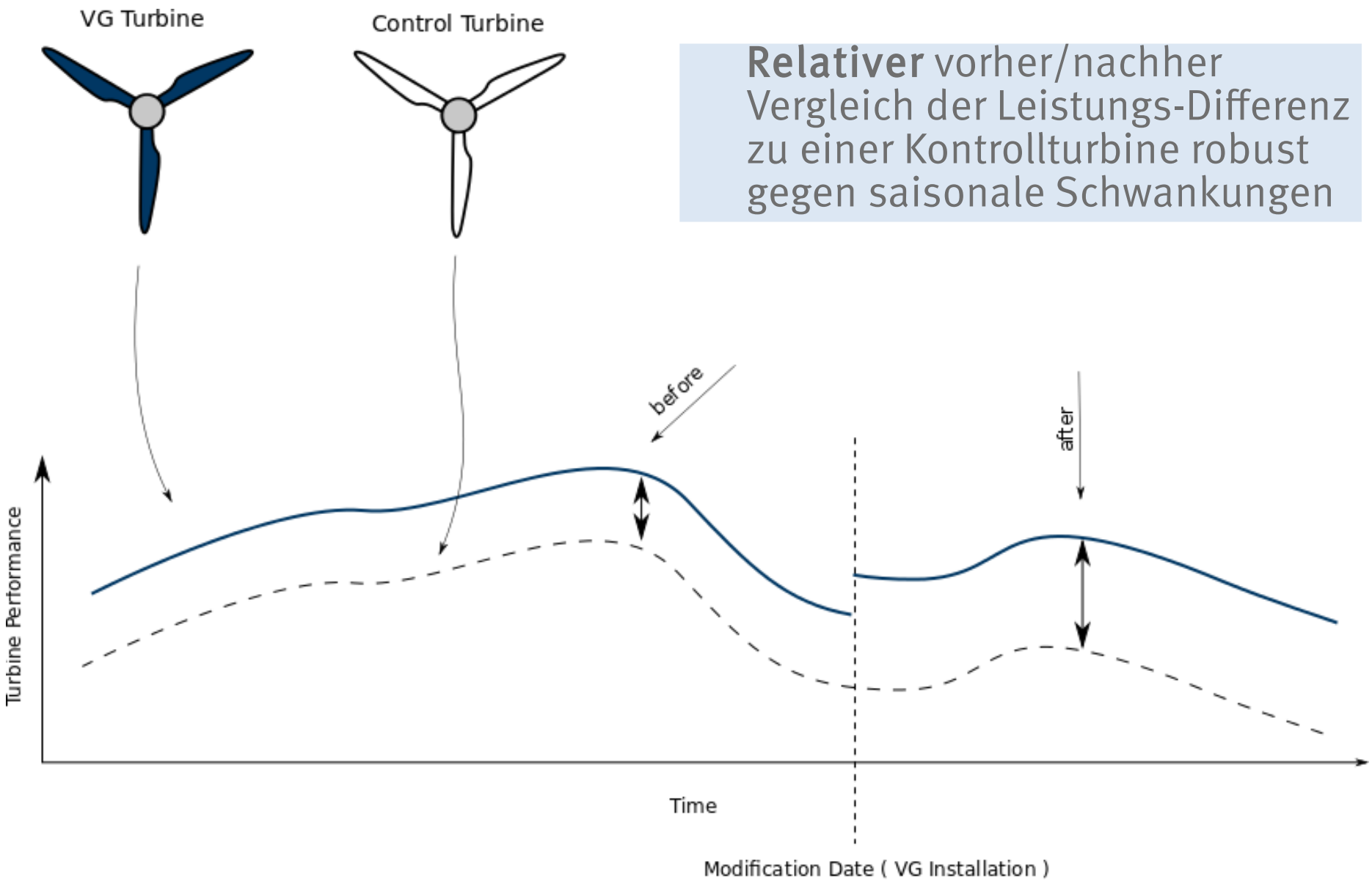
Absoluter Vergleich über Zeitperioden



Absoluter vorher/nachher Vergleich des Ertrags anfällig gegen saisonale Schwankungen

SMART BLADE

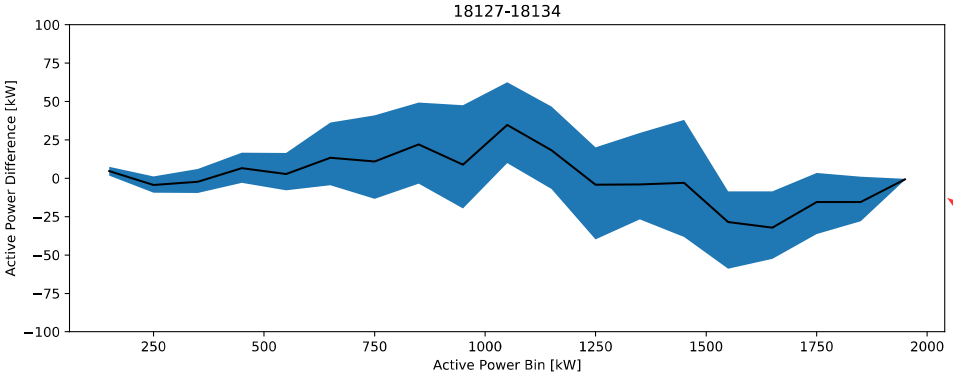
Relativer Vergleich über Zeitperioden

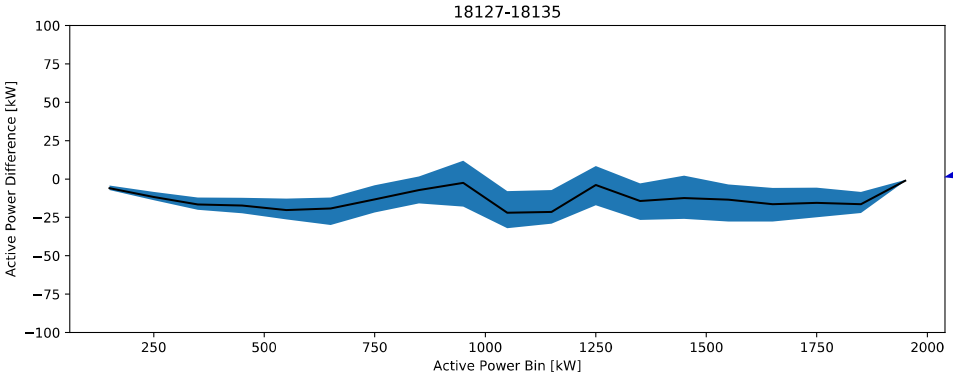


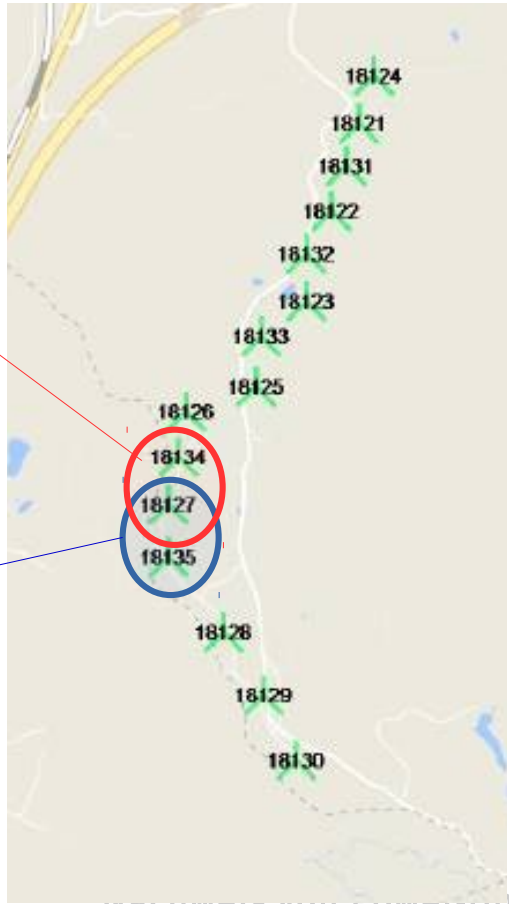
Relativer vorher/nachher Vergleich der Leistungs-Differenz zu einer Kontrollturbine robust gegen saisonale Schwankungen

Auswahl der Test-Kontroll-Turbinen Paare

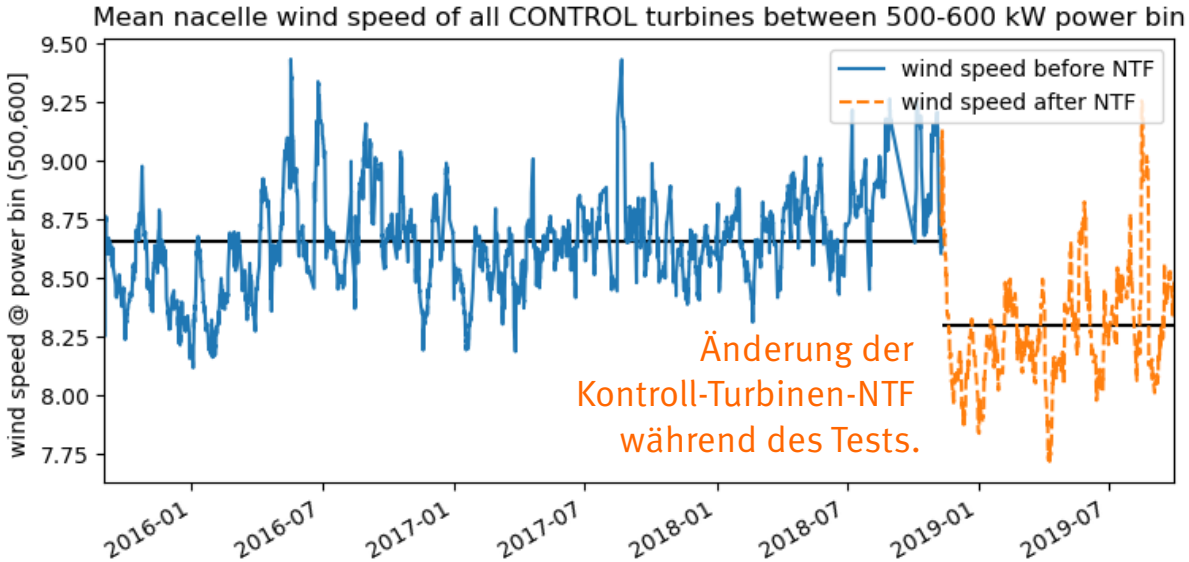
- Nicht alle Turbinen in einem Park sind vergleichbar!
- “Zero-Gain-Analyse“ = Vergleich zweier Turbinen über zwei historischen Zeiträume (ohne Upgrade).
- Notwendige Bedingung (aber nicht hinreichende Bedingung): **Nachbarturbine.**







Fallbeispiel 2: Veränderung des Setups während des Tests

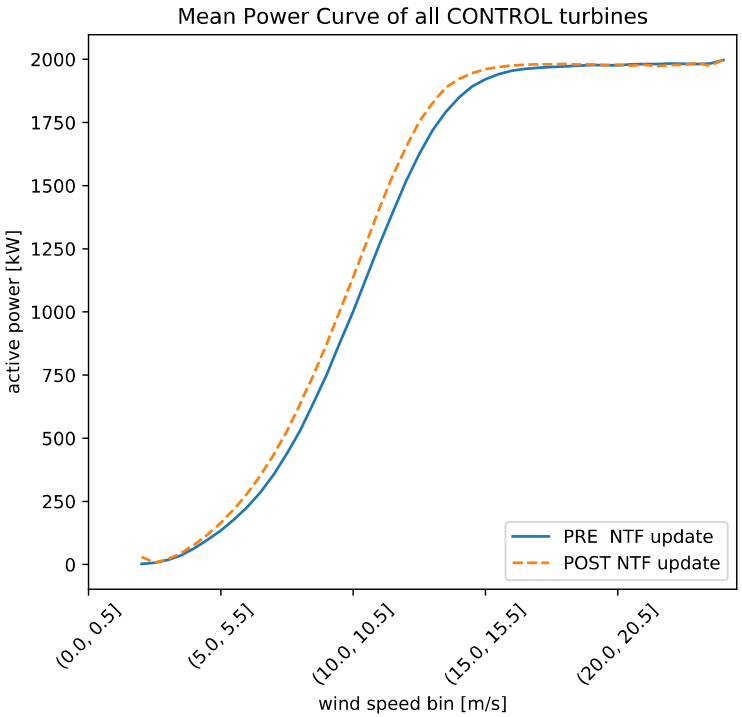


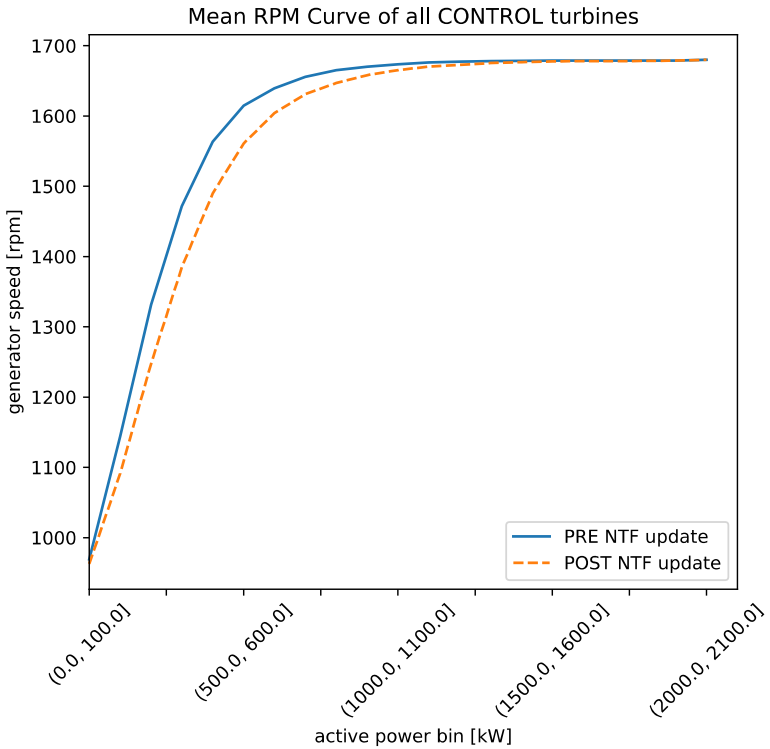
Es ist zusätzlich eine Auswirkung auf den Drehzahlregler zu erkennen.

Damit ist eine Auswirkung auf die Leistung verbunden.

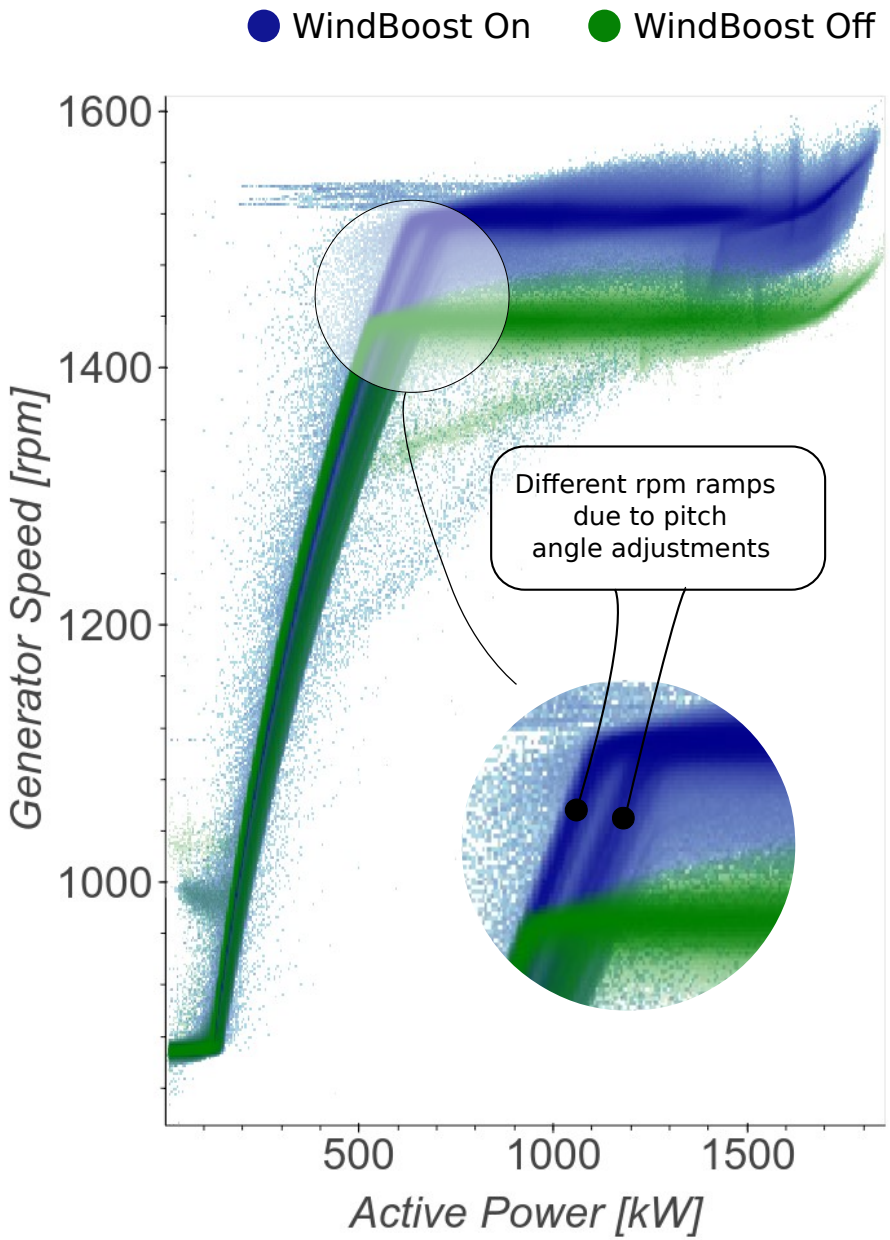
Damit hat sich die Kontrollgruppe geändert.

⇨ **Test konnte nicht ausgewertet werden :(**





Fallbeispiel 3: Änderung der Pitch-Winkel Offsets



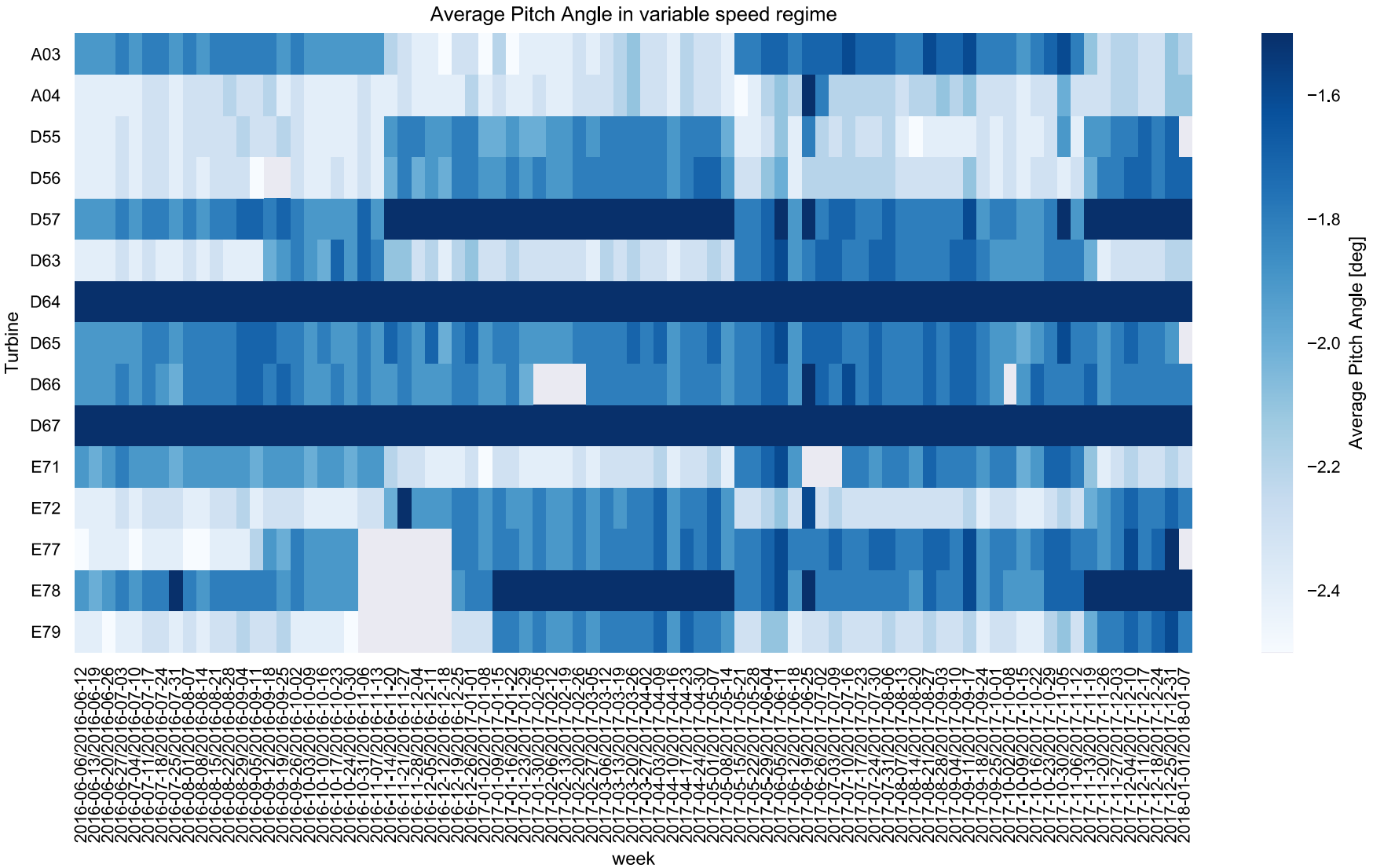
Immer „Äpfel mit Äpfeln“ vergleichen.

Es gibt leider auch „unvorhergesehene“ Änderungen.

Manchmal stellt sich erst im Nachhinein heraus, dass ein Vergleich nicht mehr möglich ist.

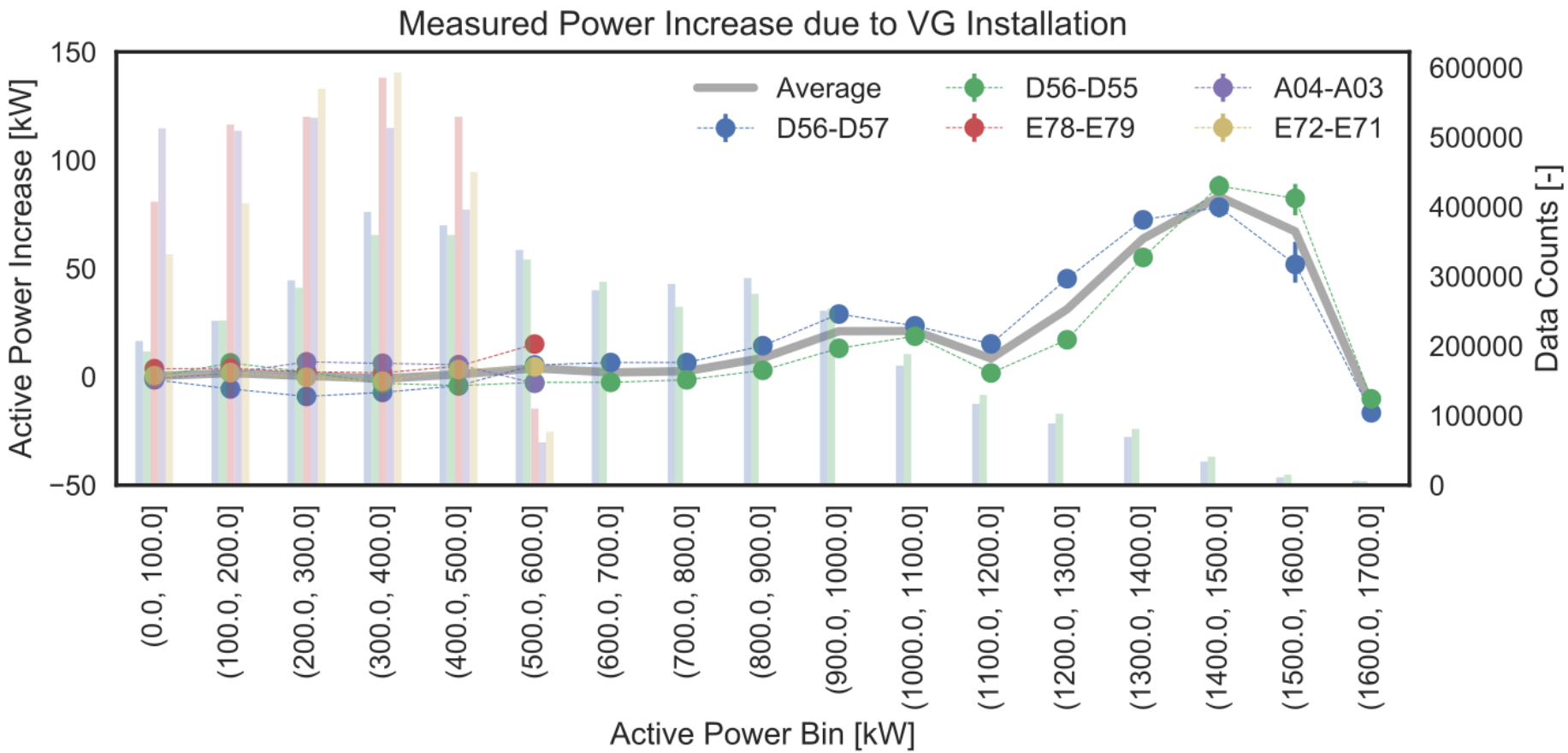
⇨ **Mehrere Test-Turbinen schaffen Redundanz.**

Fallbeispiel 3: Änderung der Pitch-Winkel Offsets



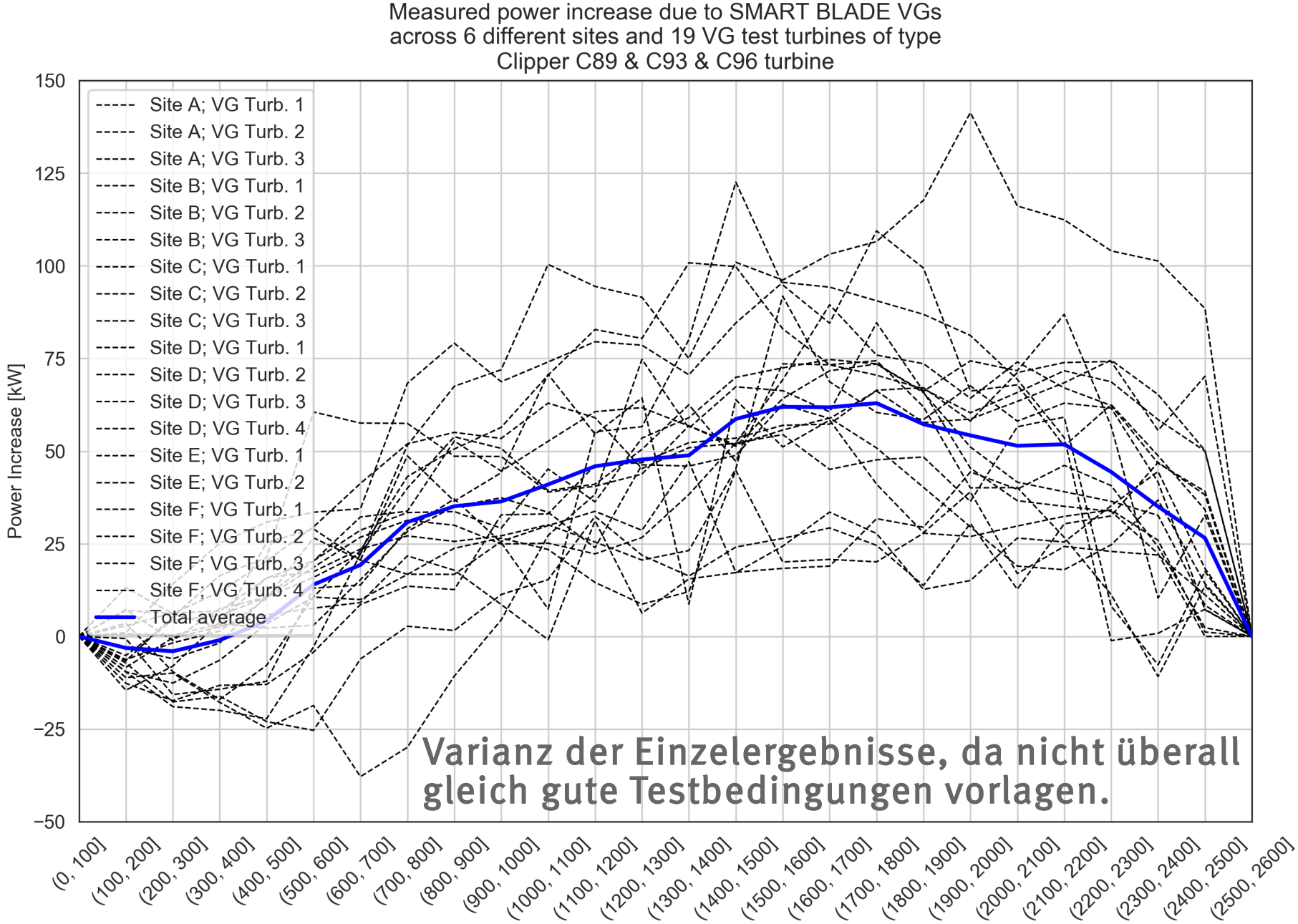
SMART BLADE

Fallbeispiel 3: Änderung der Pitch-Winkel Offsets



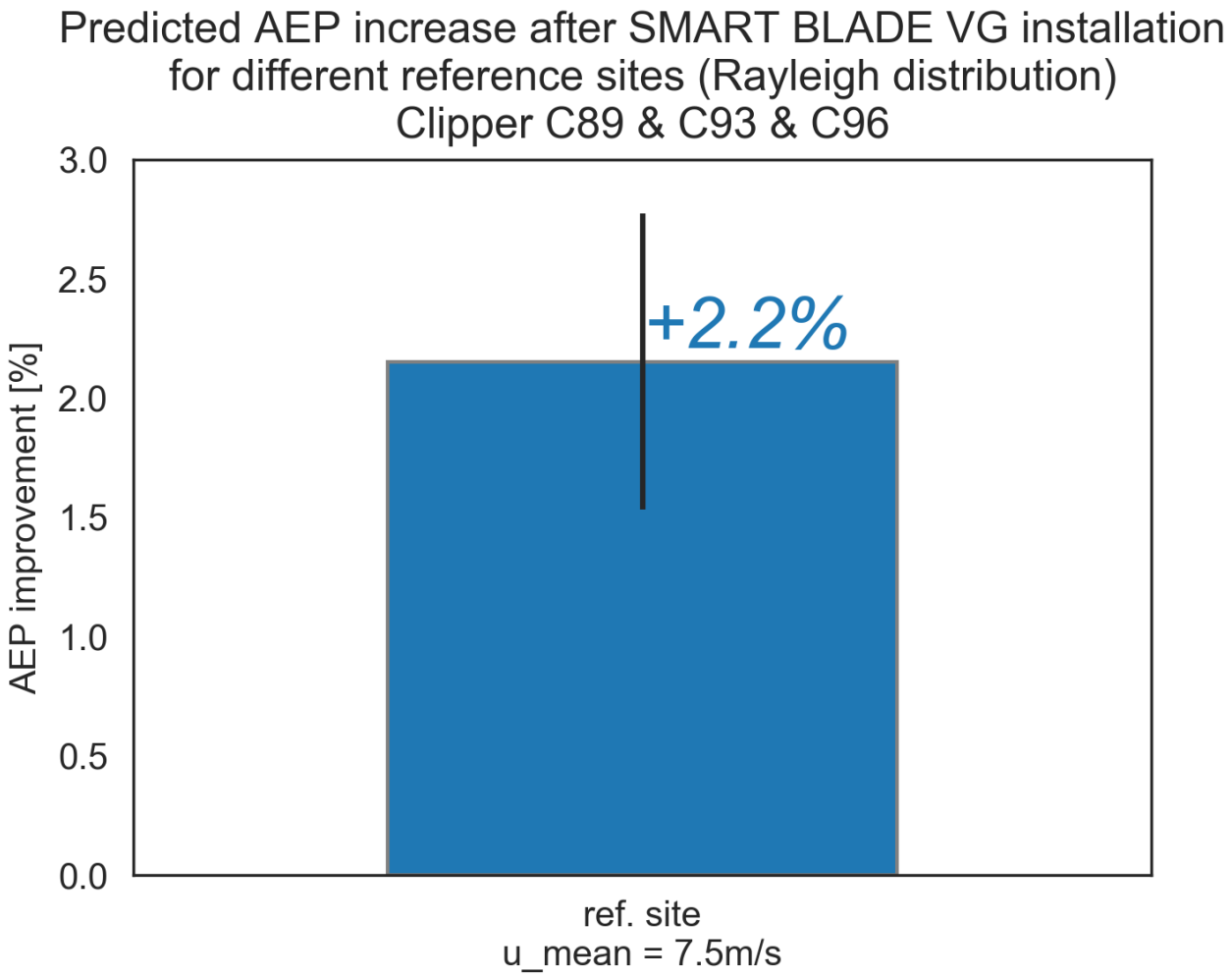
Im vorliegenden Fallbeispiel konnten nicht alle Test-Turbinen komplett ausgewertet werden, da wenig Perioden gleich bleibend vergleichbar blieben.

Fallbeispiel 4: Varianz der einzelnen Test-Turbinen (Power-vs-Power)



SMART BLADE

Fallbeispiel 4: Varianz im Jahres-Mehr-Ertrags



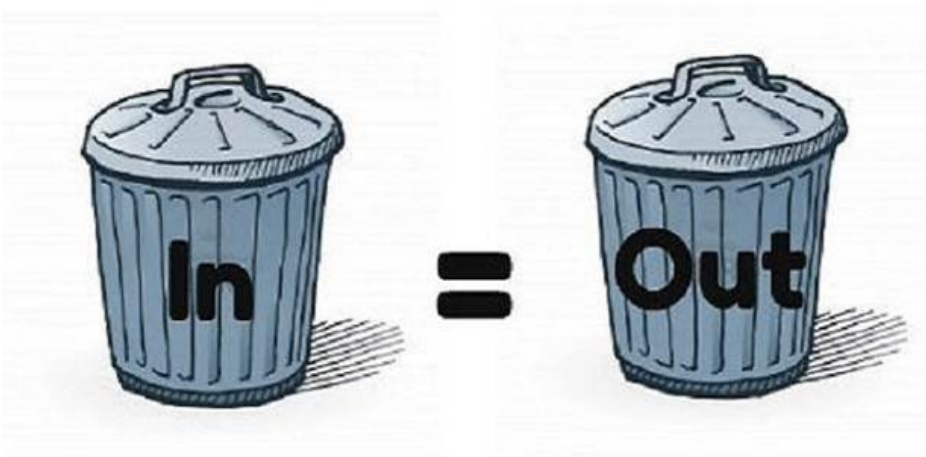
Ein mittleres Ergebnis aus mehreren Test-Turbinen ergibt ein statistisch sichereres Ergebnis.

Zusammenfassung

1. Niemals Nacelle-Power-Curves vorher / nachher vergleichen!
2. Immer mit Kontrollturbinen!
3. Kontroll-Test Paare vorher auf Vergleichbarkeit prüfen!
4. Mehrere Test-Paare pro Windpark!
5. Keine Änderungen an den Turbinen während des Tests!

⇨ **Die Nachweisführung bedarf sorgfältiger Planung.**

⇨ **Lassen Sie sich bei der Auswertung unterstützen.**



Verschiedene Nachweismethoden und ihre Vor- und Nachteile

Leistungskurven mit separatem Anemometer: + Erfassung der Umweltgrößen

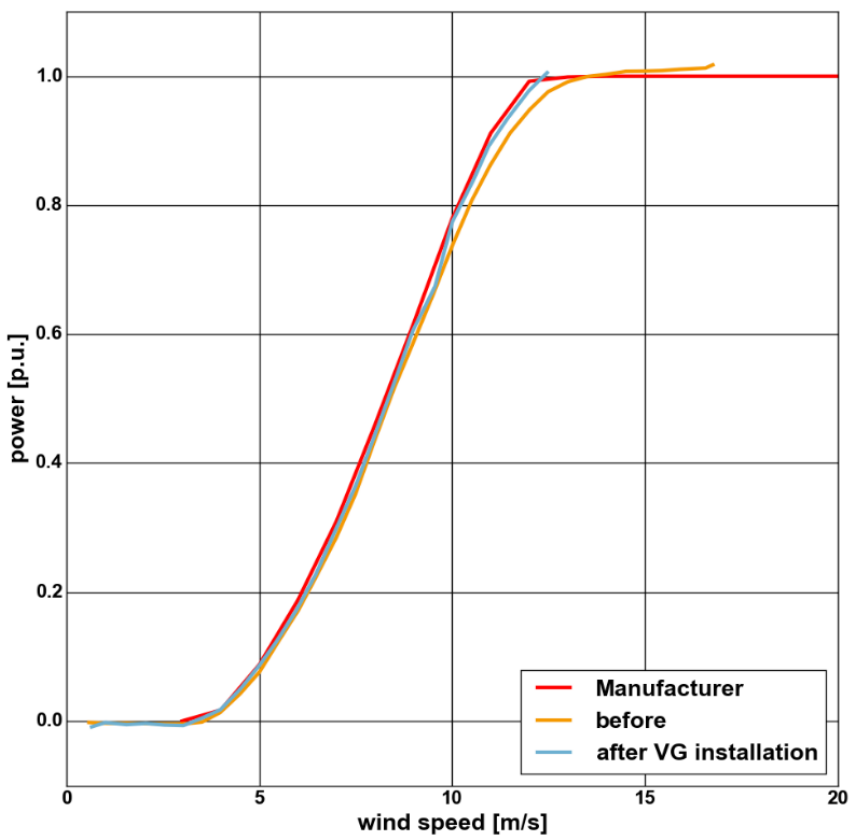
- Met-Mast: - meist nicht vorhanden, - nur wenige Turbinen in der Nähe
- LIDAR: +Synergie mit weiteren Optimierungen, - externe Hardware nötig, - teuer
- **i-Spin:** +Synergie mit weiteren Optimierungen, - externe Hardware nötig

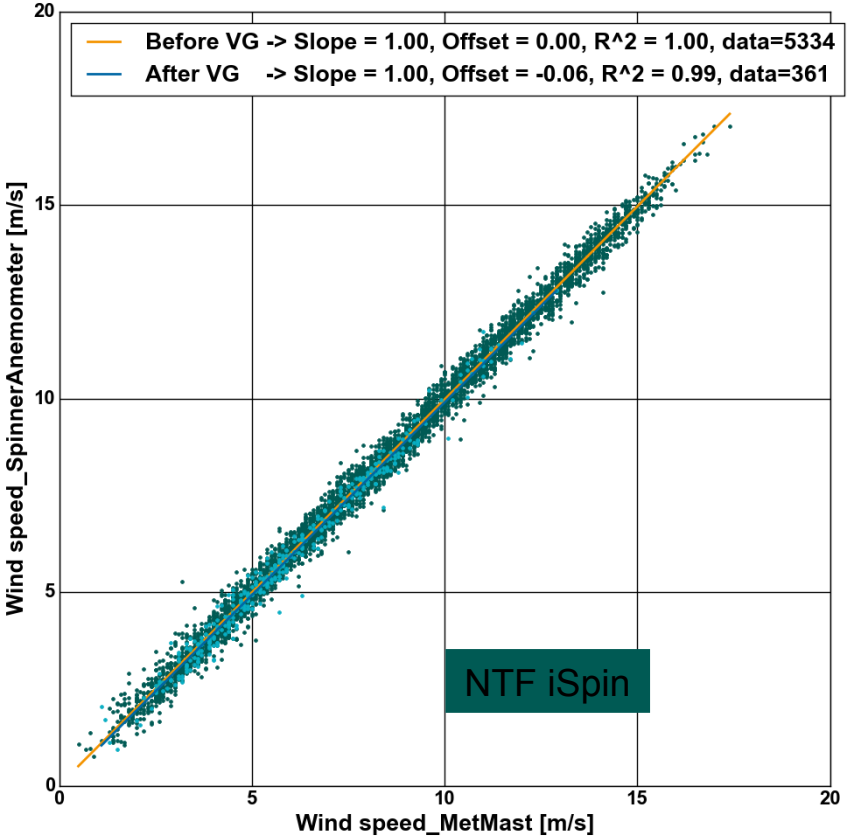
Modelle mit Standard-SCADA-Daten: + kostengünstig; + skalierbar

- **Power vs. Power:** + unkompliziert - hohe Anforderungen an Test-Setup / Daten
- Machine learning: + genauer - komplex; - rechenintensiv

Toggle-Methode: - nur für Controller Updates

i-spin: Nachweis mittels Leistungskurve





- ✔ Unbeeinflusstes Anemometer (muss an CTRL Turbine überprüft werden)
- ✔ Nahe am intuitiven Ansatz
- ✔ Power-vs-Power Alternative nicht in jedem Windpark machbar (v.a. mit 10min Daten)

SMART BLADE®

Thank you!