

WAS UNS **BETRIEBSDATEN** FÜR DIE **PROGNOSE** LEHREN

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

09.11.2023 31. Windenergietage, Potsdam

Martina Damaschke-Jensen

Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Beispiele aus der Praxis

- > Anforderungen an die Ertragsprognosen werden immer höher:
 - > nicht der Jahreswert interessiert, sondern der Monatswert, der Stundenwert...
- > Aber auch die „Herausforderungen“ werden immer höher:
 - > immer mehr Auflagen z.B. Fledermaus, Vogel etc.
 - > immer komplexere Systeme an der WEA
(optimierte Steuerungssysteme durch Blattsensorik, LiDAR-Systeme etc., Vogelerfassungssysteme usw.)



-> **Wenn ich Betriebsdaten habe, dann ist die Welt in Ordnung!**



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Beispiele aus der Praxis

- > Anforderungen an die Ertragsprognosen werden immer höher:
 - > nicht der Jahreswert interessiert, sondern der Monatswert, der Stundenwert...
- > Aber auch die „Herausforderungen“ werden immer höher:
 - > immer mehr Auflagen z.B. Fledermaus, Vogel etc.
 - > immer komplexere Systeme an der WEA
(optimierte Steuerungssysteme durch Blattsensorik, LiDAR-Systeme etc., Vogelerfassungssysteme usw.)



-> **Wenn ich Betriebsdaten habe, dann ist die Welt in Ordnung!**



-> Ist das wirklich immer so?????

Wir haben mal einen Versuch gewagt!

Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Betrachteter Standort

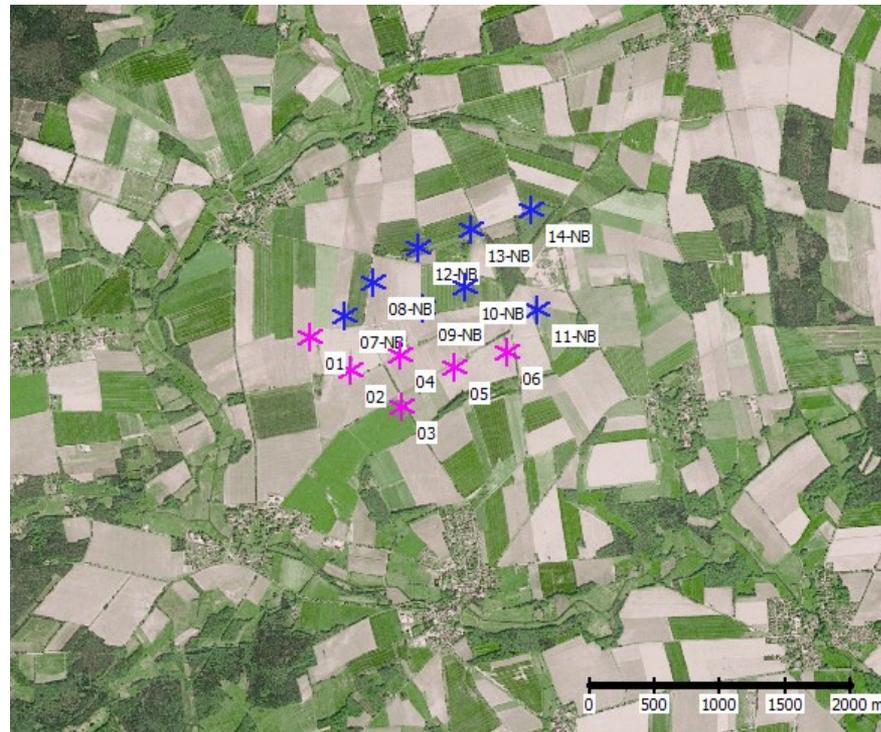
- > Standort in Niedersachsen
- > nicht komplex, typische Windparkkonstellation
- > „moderne“ WEA der 3MW-Klasse
- > 5 Jahre am Netz

Ich betreue diese Anlagen seit 3,5 Jahren intensiv im Bereich der Betriebsdatenanalyse:

- > Ich kenne diesen Standort! ✓
- > Ich kenne die Besonderheiten! ✓
- > Ich kenne die Herausforderungen! ✓

ZIEL:

Ertragsprognose für genau diesen Standort quasi eine „Eigenvorhersage“



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Eingangsdaten

- → **2 Jahre Daten ohne Lücken => keine Veränderungen an der WEA**
- → **Betriebsdaten der WEA:**
 - → 10-Minuten-Daten (Leistung, Gondelwind, Pitch, Drehzahl...)
 - → Statuscodelisten
 - → Betriebsführungsberichte
 - → Informationen zur WEA inkl. Angaben zum Regelkonzept (z.B. Umsetzung Fledermausregelung)
 - → Informationen zu Ertragsverlusten (z.B. durch Redispatchmaßnahmen)
- → **Analyse:**
 - → Langzeitdaten skaliert auf Grundlage von Betriebsdaten
 - → Lineares Strömungsmodell
 - → Zeitreihenberechnung
 - → Modelleinstellungen nach „etablierten Standardprozeduren“

Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Erwartung?

- → Wenn ich Betriebsdaten habe, dann ist die Welt in Ordnung!

- → Wenn ich Betriebsdaten habe
 - → von einem Windpark, den ich im Detail kenne
 - → mit einer hohen Qualität
 - → mit sämtlichen Zusatzinformationen
 - → von genau der WEA, für die ich auch den Ertrag prognostiziere
 - → ...

- → **dann muss die Welt EXTREM IN ORDNUNG sein!**



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Ableich Modell => Realität

ERTRAG Prognose (inkl. Wake, Schall und Bats) [kWh/a]	in Scada-Daten enthalten	in Prognose enthalten	41.000.000	Quelle
Wake Effect				
Wake effect internal	x	x		
Wake effect external	x	x		
Future wake effect	x	x		
Availability				
Turbine availability	x	-	3.59%	Fehlerstatistik Statuscodes
Balance of Plant availability	nicht zu berücksichtigen			
Grid availability	x	-	6.00%	Fehlerstatistik Statuscodes (u.a. Redispatch, DV)
Electrical efficiency				
Operational efficiency	-	-		
Wind farm consumption	x	-	0.00%	Standardwert TR6 = 0%
Turbine Performance				
Generic power curve adjustment	nicht zu berücksichtigen			
High wind speed hysteresis	nicht zu berücksichtigen			
Site specific power curve adjustment	x	-	2.00%	aus Leistungskurvencharakteristik abgeleitet über Betriebsdatenanalyse ermittelt
Suboptimal performance	x	-	0.58%	(Reduktionen aus bekanntem und unbekanntem Grund)
Environmental				
Performance degradation - non icing	x	-	0.50%	Standardwert TR6 = 0.5%
Performance degradation - icing	x	-	0.25%	Standardwert TR6 = 0.25% aus Vereisungskarte (1/4)
Icing shutdown	x	-	0.35%	Fehlerstatistik
Temperature shutdown	nicht zu berücksichtigen			
Site access	nicht zu berücksichtigen			
Tree growth	nicht zu berücksichtigen			
Curtailments				
WSM	nicht zu berücksichtigen			
Noise	x	x		
Bats	x	x		
Birds	nicht zu berücksichtigen			
Shadow	x	-	0.09%	Fehlerstatistik Statuscodes
NETTO-ERTRAG nach Abzug aller Verluste [kWh/a]			36.000.000	
NETTO-ERTRAG laut Anlagenzähler / Scada [kWh/a]			35.000.000	
DIFFERENZ			2.01%	

--> 2% Abweichung ?

Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Abweichungen! – WARUM?

-> Unsicherheiten in den Verlustannahmen (Berechnungsmethoden etc.)



-> Leistungskurvencharakteristik: Modell => Realität



-> Modellgenauigkeit der Windparksituation / Simulation des Nachlaufs



-> Simulation der Restriktionen durch genehmigungsrechtliche Auflagen (z.B. Fledermaus, Vogel...)



-> ???

-> **2% Abweichung**



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Abweichungen! – WARUM?

-> Unsicherheiten in den Verlustannahmen (Berechnungsmethoden etc.)

!

-> Leistungskurvencharakteristik: Modell => Realität

?

-> Modellgenauigkeit der Windparksituation / Simulation des Nachlaufs

?

-> Simulation der Restriktionen durch genehmigungsrechtliche Auflagen (z.B. Fledermaus, Vogel...)

?

-> ???

-> 2% Abweichung

?

Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

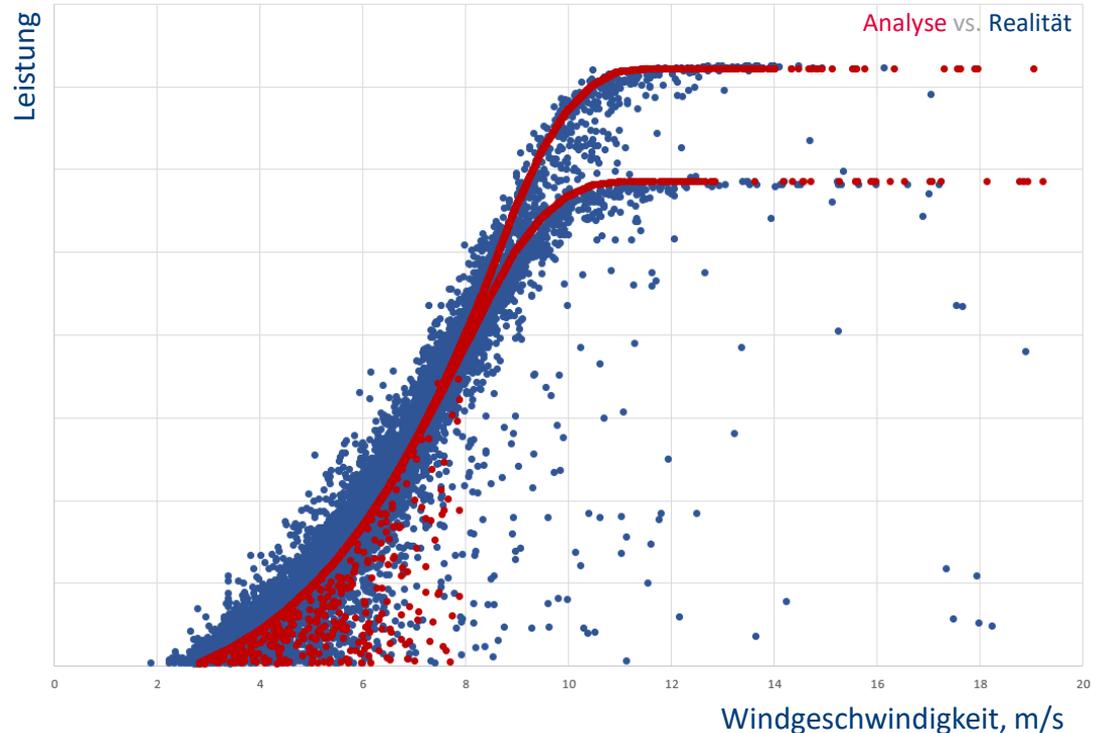
Leistungskurvencharakteristik Modell => Realität

Zu erkennen:

- > Streuung
- > Turbulenzeffekte
- > Stoppvorgänge
- > Fledermausabschaltungen

Dennoch:

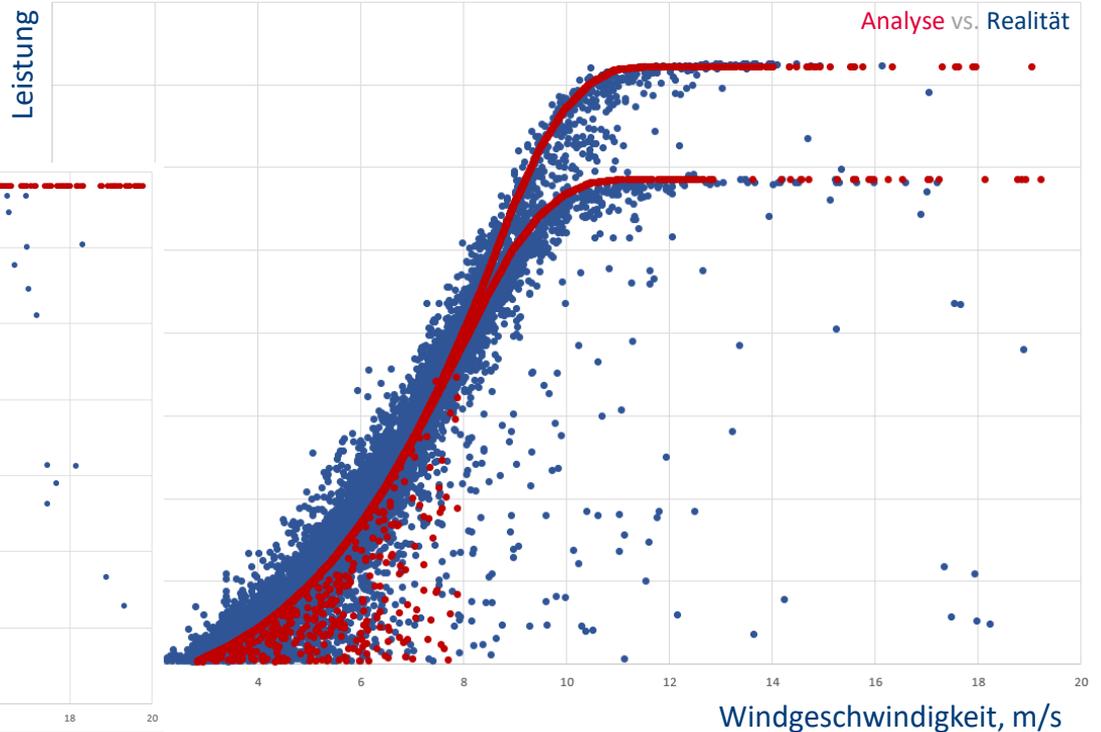
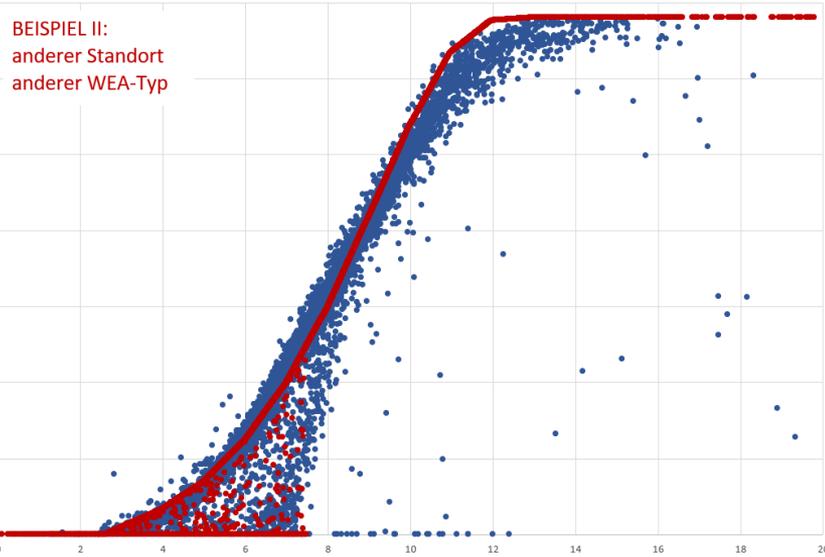
- > In diesem Fall passt die Leistungskurvencharakteristik sehr gut überein.
- > Restabweichung ist über Verluste im Bereich „Turbine Performance“ abgedeckt.



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Leistungskurvencharakteristik Modell => Realität

Es gibt auch andere Fälle!!!



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Abweichungen! – WARUM?

-> Unsicherheiten in den Verlustannahmen (Berechnungsmethoden etc.)



-> Leistungskurvencharakteristik: Modell => Realität



*in diesem Fall, häufig jedoch problematisch

-> Modellgenauigkeit der Windparksituation / Simulation des Nachlaufs



-> Simulation der Restriktionen durch genehmigungsrechtliche Auflagen (z.B. Fledermaus, Vogel...)



-> ???

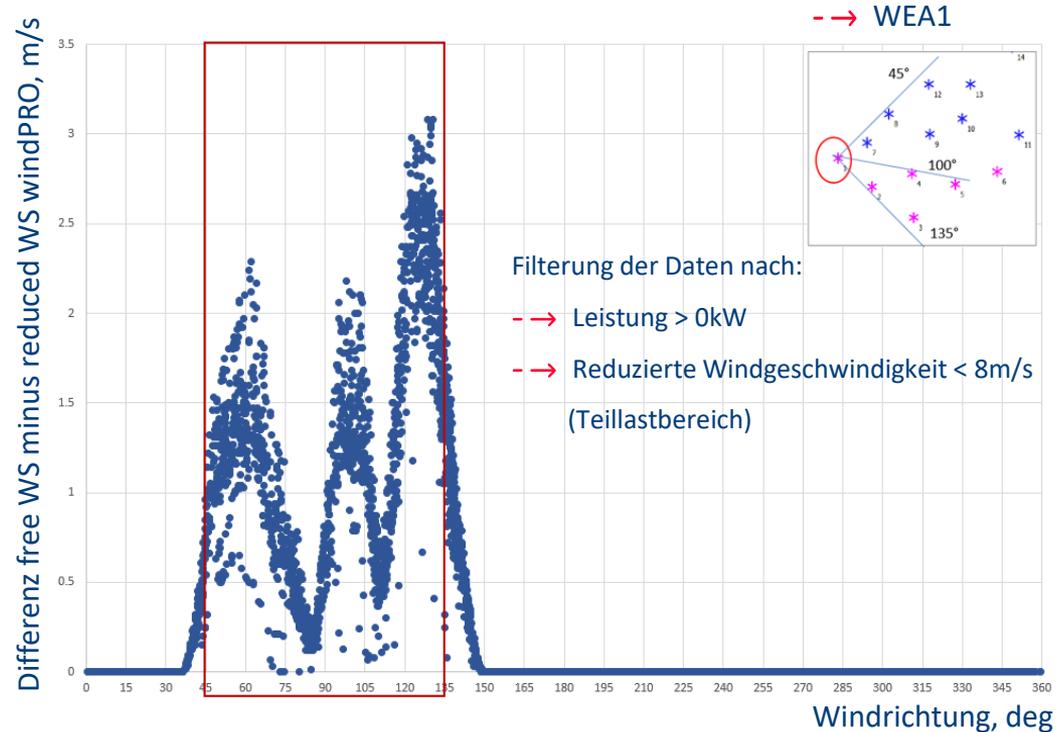
-> 2% Abweichung



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Simulation des Nachlaufs

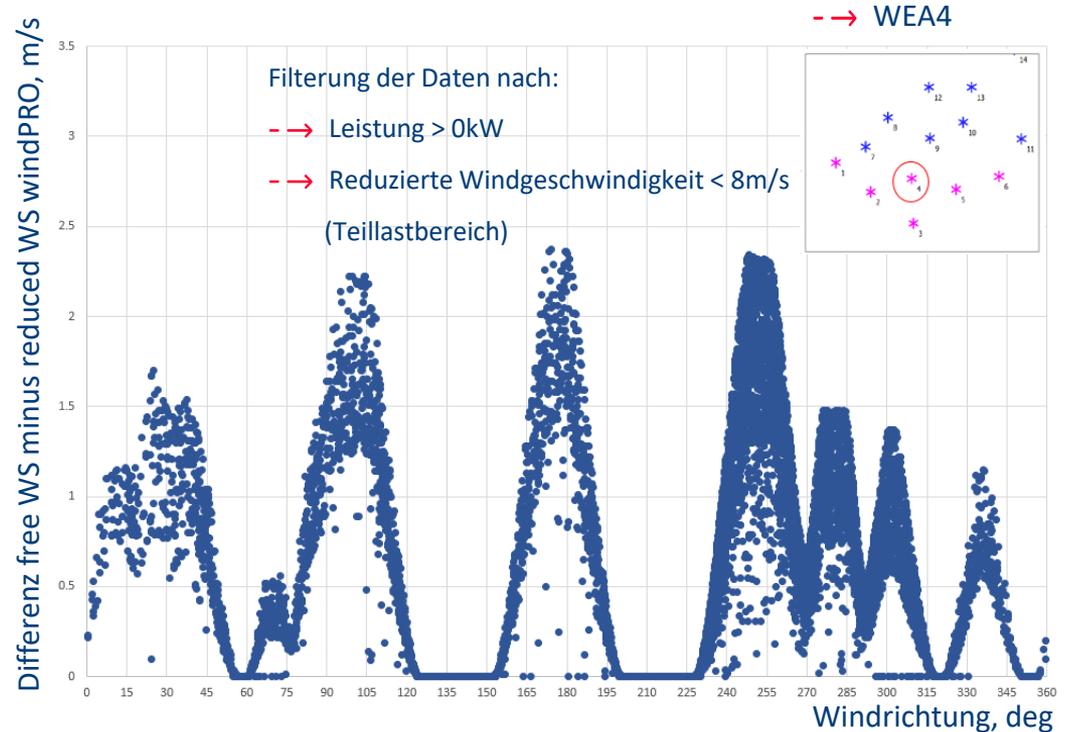
- > Nachlaufeffekt ist über die reduzierte Windgeschwindigkeit im Modell abgebildet



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Simulation des Nachlaufs

- > Nachlaufeffekt ist über die reduzierte Windgeschwindigkeit im Modell abgebildet



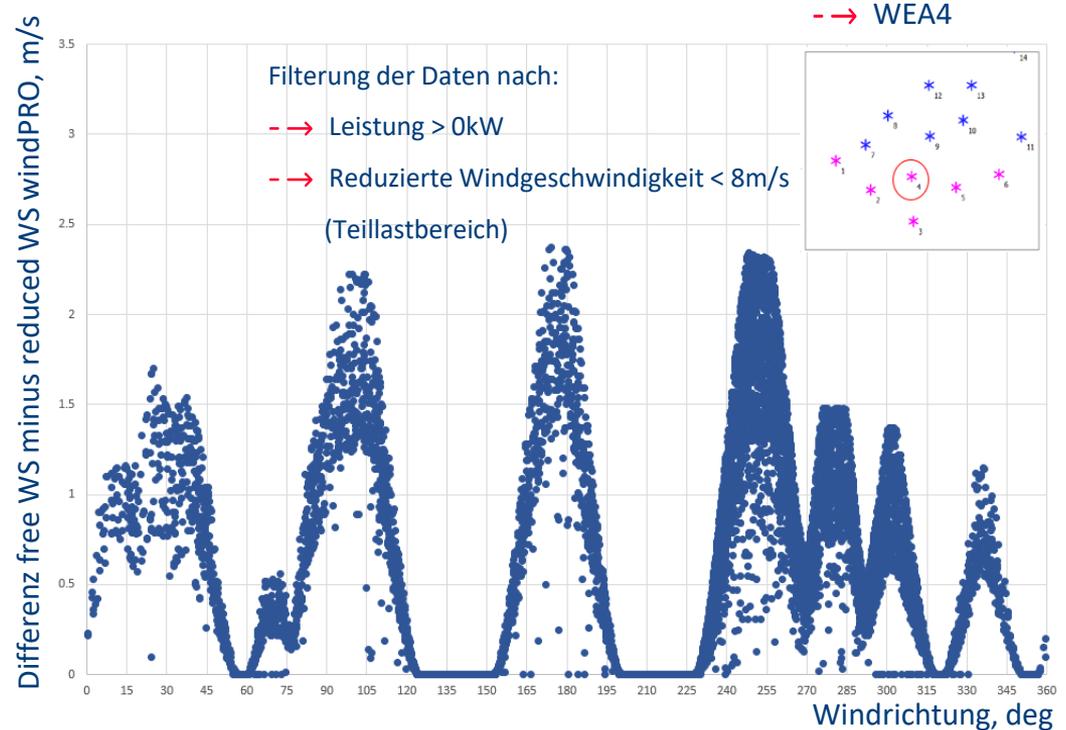
Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Simulation des Nachlaufs

--> Nachlaufeffekt ist über die reduzierte Windgeschwindigkeit im Modell abgebildet

--> Nachlaufsimulation „scheint“ passend (✓)

--> ABER:
Ist die Größenordnung der Realität
entsprechend? (?)

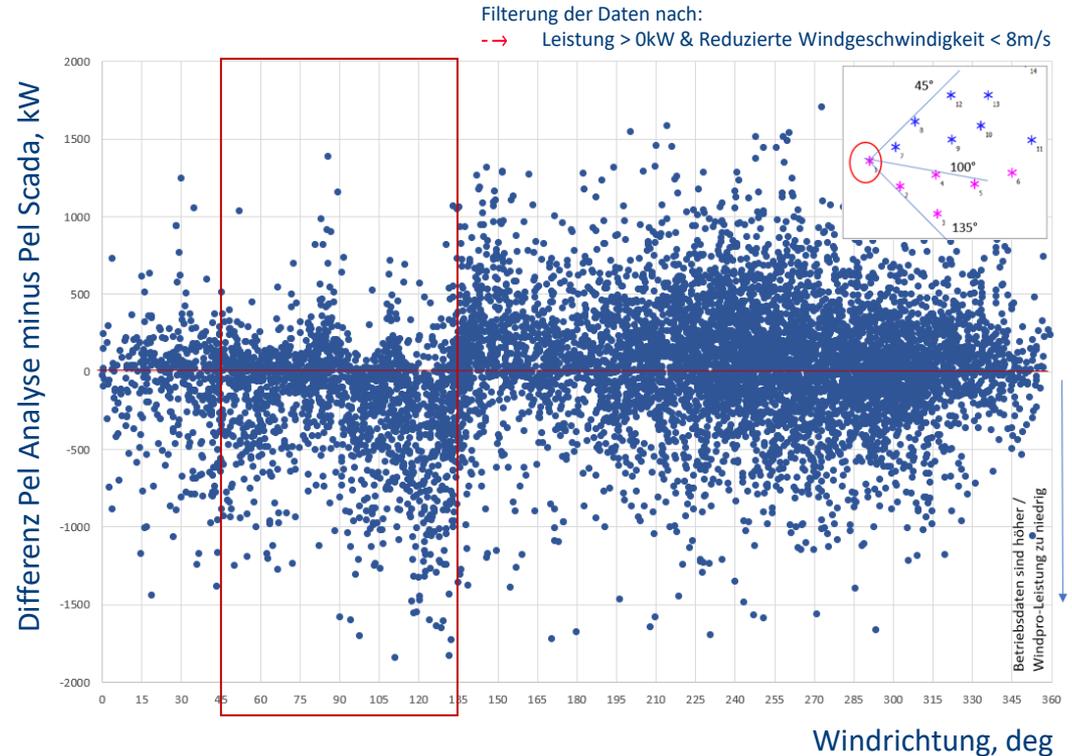


Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Simulation des Nachlaufs

--> Nachlaufsimulation „scheint“ passend ✓

--> ABER:
Ist die Größenordnung der Realität
entsprechend? ?



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

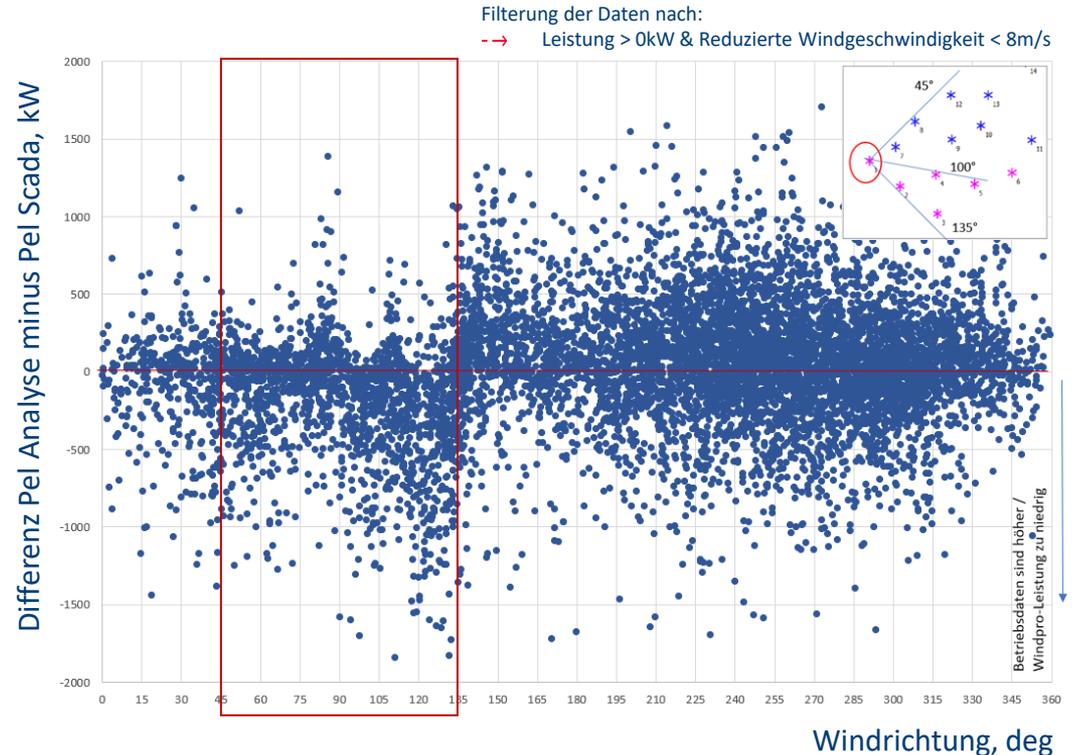
Simulation des Nachlaufs

-> Im Bereich des Nachlaufs ist die prognostizierte Leistung niedriger als die tatsächliche Leistung

-> Nachlaufsimulation „scheint“ passend !

-> ABER:
Ist die Größenordnung der Realität ?
entsprechend?

-> ANTWORT: Das Modell ist in diesem Fall
(Kombination aus Standort und WEA-Typ) !
tendenziell zu konservativ.



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Abweichungen! – WARUM?

-> Unsicherheiten in den Verlustannahmen (Berechnungsmethoden etc.)



-> Leistungskurvencharakteristik: Modell => Realität



*in diesem Fall, häufig jedoch problematisch

-> Modellgenauigkeit der Windparksituation / Simulation des Nachlaufs



*hier haben wir Unsicherheiten,
in diesem Fall resultieren sie jedoch in niedrigere Erträge

-> Simulation der Restriktionen durch genehmigungsrechtliche Auflagen (z.B. Fledermaus, Vogel...)



-> ???

-> 2% Abweichung



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Simulation der Restriktionen durch genehmigungsrechtliche Auflagen

Herausforderung: Fledermausabschaltung

- → Hysterese 30 Minuten mit 0,5m/s
- → Inputparameter: Temperatur, Windgeschwindigkeit, Regen

Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Simulation der Restriktionen durch genehmigungsrechtliche Auflagen

Herausforderung: Fledermausabschaltung

- → Hysterese 30 Minuten mit 0,5m/s
- → Inputparameter: Temperatur, Windgeschwindigkeit, Regen

- → Hysterese extrem schwer abzubilden:
Auflösung der Simulationsdaten 1h
- → Windgeschwindigkeit:
Thema Nachlauf / passt da der simulierte Wind?
- → Regen? Sehr lokal / keine verlässlichen Simulationsdaten
- → Temperatur Offset:
dadurch besonders in den Übergangsmontaten
abweichende Ergebnisse

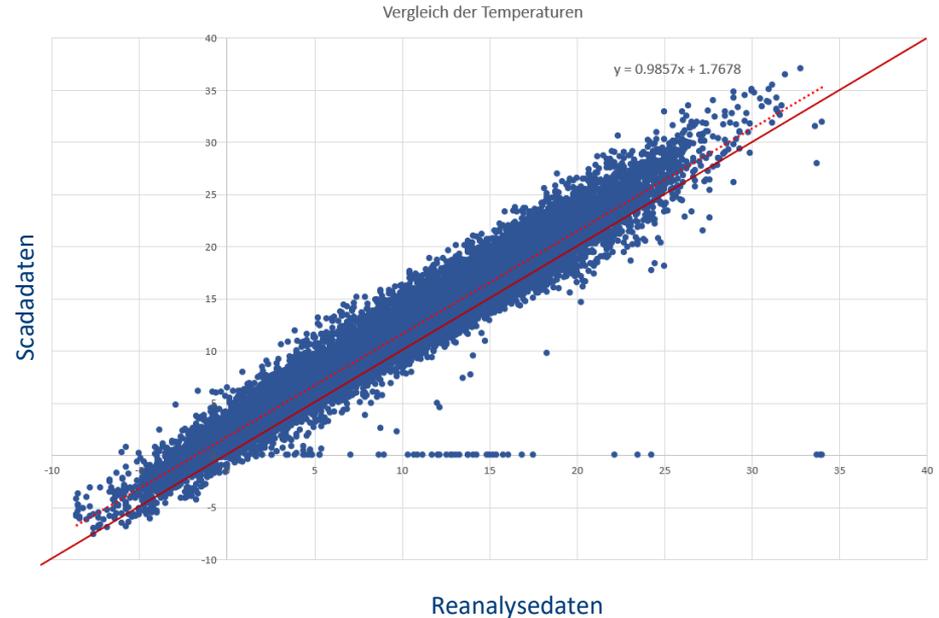
Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Simulation der Restriktionen durch genehmigungsrechtliche Auflagen

Herausforderung: Fledermausabschaltung

- → Hysterese 30 Minuten mit 0,5m/s
- → Inputparameter: Temperatur, Windgeschwindigkeit, Regen

- → Hysterese extrem schwer abzubilden:
Auflösung der Simulationsdaten 1h
- → Windgeschwindigkeit:
Thema Nachlauf / passt da der simulierte Wind?
- → Regen? Sehr lokal / keine verlässlichen Simulationsdaten
- → **Temperatur Offset:**
dadurch besonders in den Übergangsmonaten
abweichende Ergebnisse

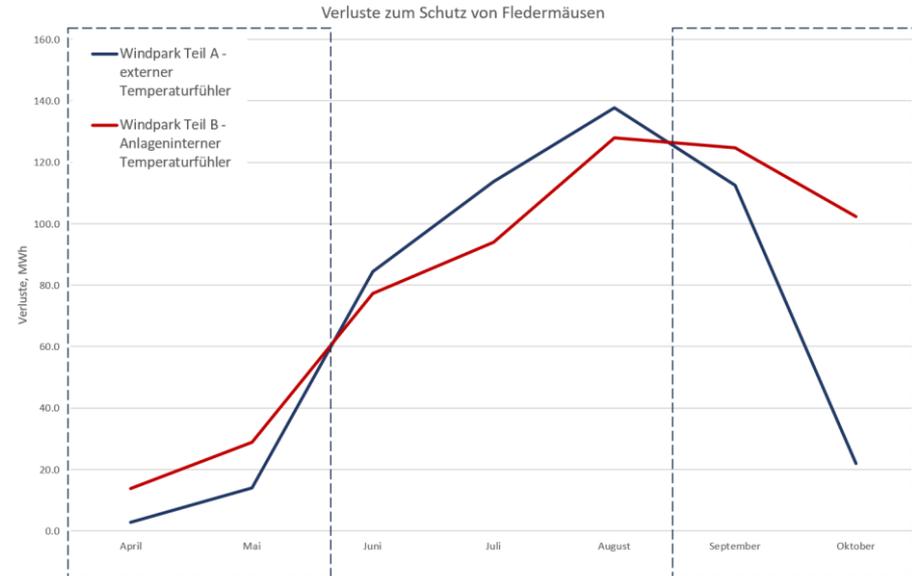


Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Simulation der Restriktionen durch genehmigungsrechtliche Auflagen

Herausforderung: Fledermausabschaltung

- > Beispiel II: anderer Windpark
- > bestehend aus 2 verschiedenen Anlagentypen
- > gleiche Genehmigungsaufgaben bezüglich Fledermaus
- > Unterschied:
 - > Nabenhöhe Teil A 4m geringer, dadurch leicht niedrigere Windgeschwindigkeit
 - > Temperaturmessung
 - Teil A – externer Fühler
 - Teil B – anlageninterner Fühler



- > Extrem unterschiedliche Umsetzungen an der WEA je nach Anlagentyp bzw. eingesetztem Drittsystem

Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Simulation der Restriktionen durch genehmigungsrechtliche Auflagen

Herausforderung: Abschaltung zum Schutz der Vögel

- → **Mahdauflagen** lassen sich nur schwer prognostizieren:
 - → im Jahresmittel evtl. passend => aber Monatsgenau? Stundengenau?
- → Prognose bei **Vogelerfassungssystemen**:
 - → Informationen aus biologischen Gutachten tlw. stark unterschiedlich, dadurch Abschätzung der Vogelhäufigkeit extrem schwierig
 - → Abschaltalgorithmen der WEA in Planungsphase häufig noch unbekannt

Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

Abweichungen! – WARUM?

-> Unsicherheiten in den Verlustannahmen (Berechnungsmethoden etc.)



-> Leistungskurvencharakteristik: Modell => Realität



*in diesem Fall, häufig jedoch problematisch

-> Modellgenauigkeit der Windparksituation / Simulation des Nachlaufs



*hier haben wir Unsicherheiten,
in diesem Fall resultieren sie jedoch in niedrigere Erträge

-> Simulation der Restriktionen durch genehmigungsrechtliche Auflagen (z.B. Fledermaus, Vogel...)



*in diesem Fall, häufig jedoch problematisch

-> ???

-> 2% Abweichung



Was uns Betriebsdaten für die Prognose lehren

FAZIT



-> Wenn ich Betriebsdaten habe, dann ist die Welt in Ordnung!



-> Ist das wirklich immer so?????

- > Betriebsdaten verringern die Unsicherheiten
- > Unsicherheiten bleiben aber selbst bei bester Datengrundlage bestehen
- > Welches **Potential** sehen wir?
 - > Anpassungen Strömungsmodell, Nachlaufsimulation (u.a. Schubbeiwert: Annahme => Realität?)
 - > Kontinuierliche Betriebsdatenanalysen erhöhen Wissen über das Anlagenverhalten
 - > Verluste (z.B. durch genehmigungsrechtliche Restriktionen) können immer besser abgeschätzt werden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

- → Fragen? Stellen Sie uns diese jederzeit gern!



Ihre Ansprechpartner



Martina Damaschke-Jensen

SENIOR WIND & SITE ASSESSMENT

✉ damaschke-jensen@pavana-wind.com

☎ +49 4841 8944 267



Martin Richter-Rose

SENIOR WIND & SITE ASSESSMENT

✉ richter-rose@pavana-wind.com

☎ +49 4841 8944 268