



ProPlanEn

präsentiert

Modellierung von Windparkverlusten

Dr. Wolfgang Schlez

09/11/2023

31. Spreewindtage

ProPlanEn
Wind Energy Advisory

Beratung durch die Experten von ProPlanEn



Forschung und Entwicklung

- Produktentwicklung
- Softwaretools
- Prozessanalyse
- Auftragsforschung
- Strategische Studien
- und mehr ...

Unabhängige Dienstleistungen

- WakeBlaster SaaS
- Windgutachten
- Windparkanalyse
- Projektbegleitung
- Schulungen
- und mehr ...



Gründer: Dr. Wolfgang Schlez

> 30 Jahre in Windenergie

> 90 Veröffentlichungen

Wir helfen unseren Kunden ihre Projekte zu verwirklichen - weltweit

Warum modellieren wir Windparks?

Planungsphase

- Jahresertrag
- Zeitlicher Verlauf
- Unsicherheiten
- Windparkauslegung
- Standortbedingungen

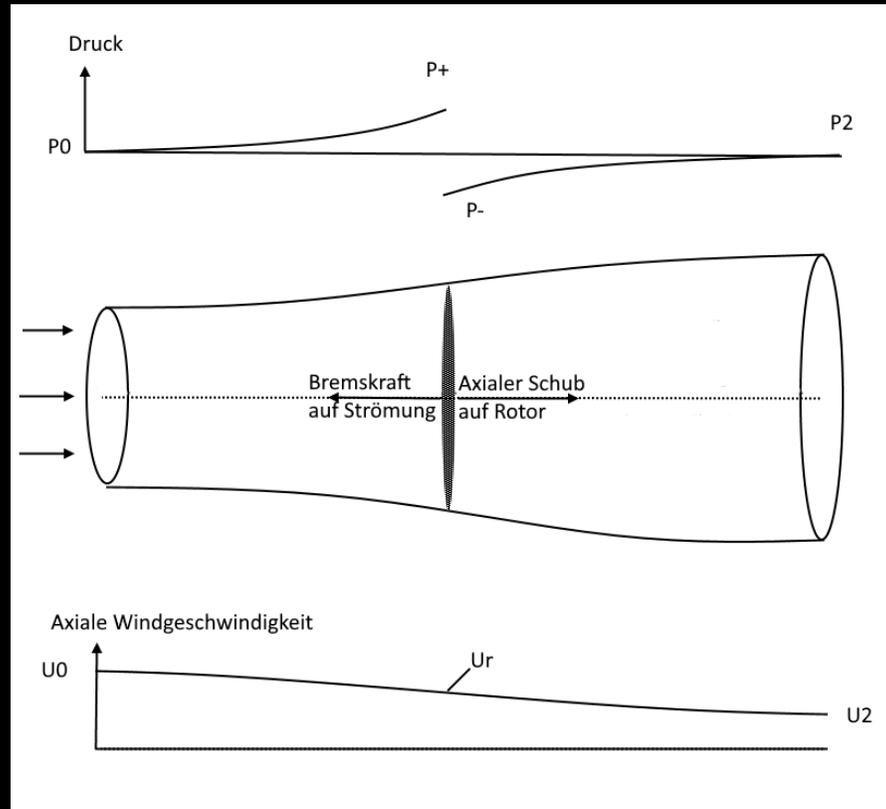
Betriebsphase

- Wertermittlung
- Abweichungen
- Ertragssteigerung
- Lebensdauer

Hintergrund

- Grundlagen der Nachlaufströmung
- 50 Jahre Modellentwicklung
- Stand heute

Axiale Impulstheorie (Betz)



Annahmen/Vereinfachungen:

- Fluid nicht komprimierbar
- Keine Reibung
- Rotor wird Scheibe ersetzt
- Homogene Strömung
- Konstante Schubverteilung
- Keine Drehung der Strömung
- Umgebungsluftdruck $P_0 = P_2$
- Keine radiale Komponente

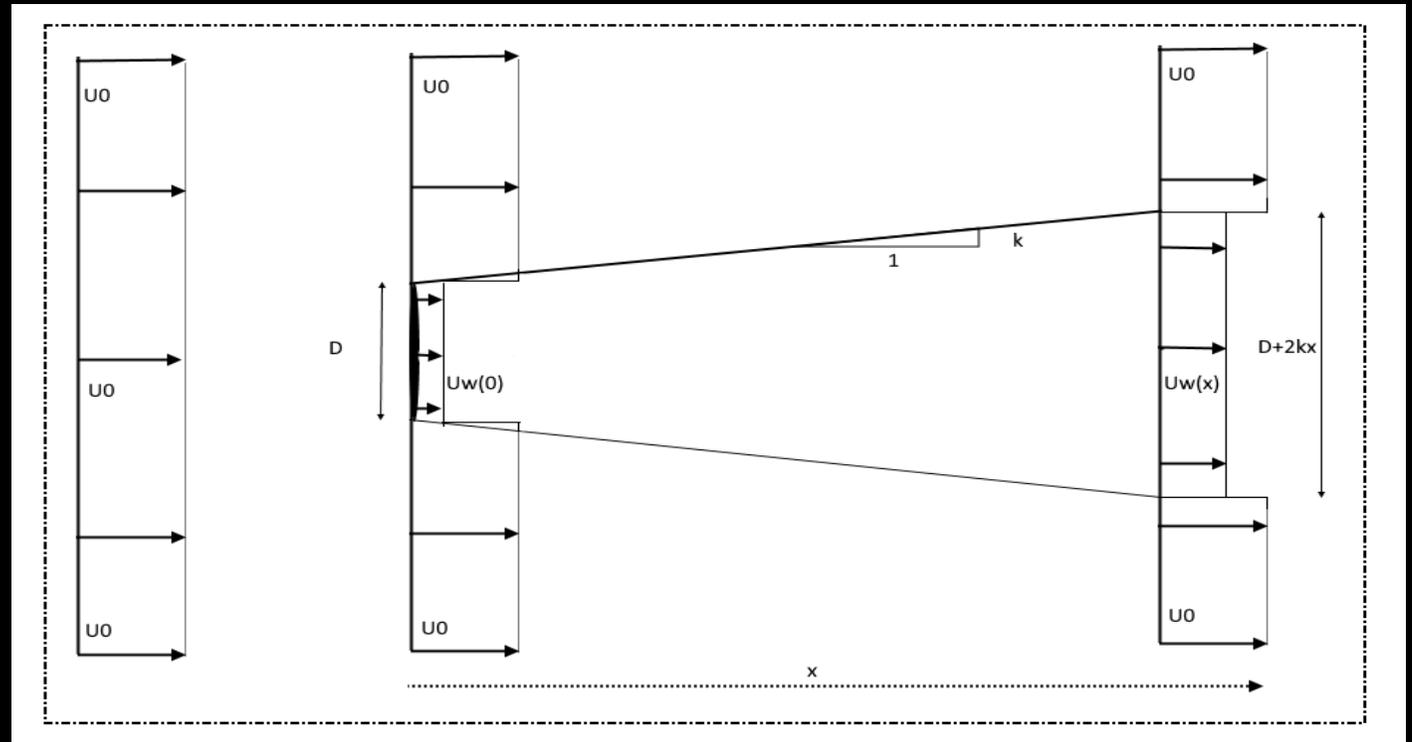
PARK – Modell einer Nachlaufströmung

Wichtige Annahmen:

- Lineare Aufweitung (k)
- Impulserhaltung
- Massenerhaltung
- Modelliert Einzelwakes

Bewährtes Modell aber:

- Impulserhaltung verletzt
- k situationsbedingt
- Nicht mehr „Stand der Technik“



PARK Modell nach NO Jensen (1983)

Herausforderung Nachlaufströmung

Stand der Technik (1990)

- Single Wake Model
- Profil axialsymmetrisch
- Empirische Gleichungen
- Feste Anlagencharakteristik
- Umgebung überlagert

Beispiel: Park (Jensen 1983)

Stand der Technik (2020)

- Windparkmodell
- Variable Profilform
- Numerische Lösung
- Anlagenkorrektur
- Umgebung interagiert

Beispiel: WakeBlaster (Bradstock 2019)

WakeBlaster – ein aktuelles Modell

Numerisches (RANS) Modell

- Erhaltungsgrößen
- Überlagerung Wake-Wake
- Überlagerung Wake-Profil
- Variable Nahbereichslänge
- Ti Erzeugung und Zerfall
- Leistungskurvenkorrektur
- Variable Anlagenhöhen
- Variable Geschwindigkeit
- Variable Stabilität, Ti
- Zeitreihenmodus 

Berechnungen werden von den Softwarepaketen **WindPRO** und **Openwind** unterstützt.

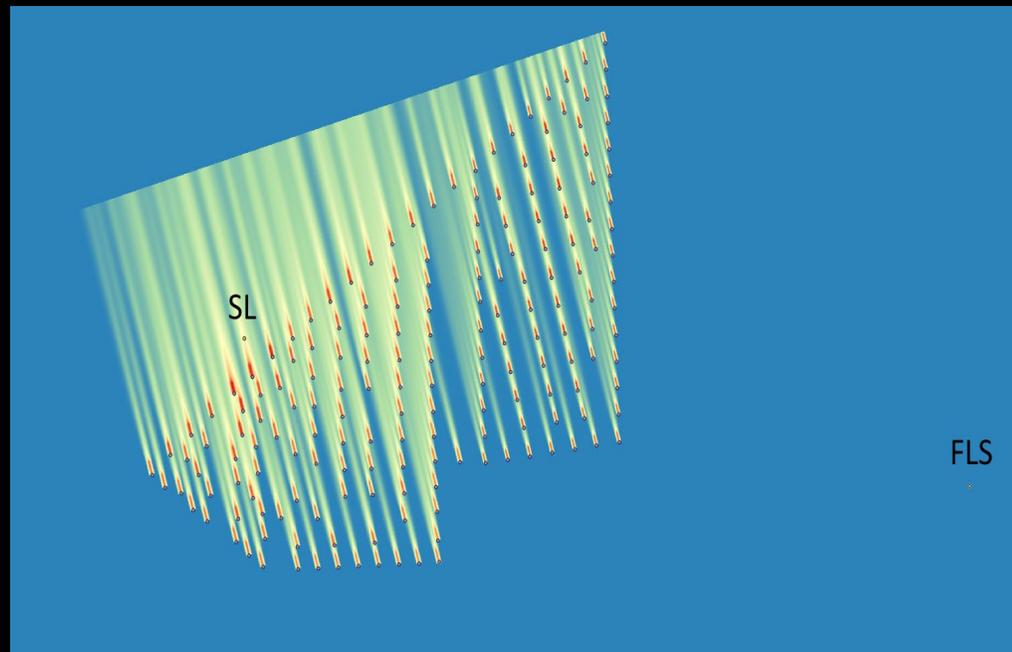
Spannende Anwendungen

- Stabilitätsabhängige Korrektur einer Messung in der Wake
- Modellierung von Wakes in gekrümmter Strömung
- Ertragssteigerung durch Ablenkung der Wake

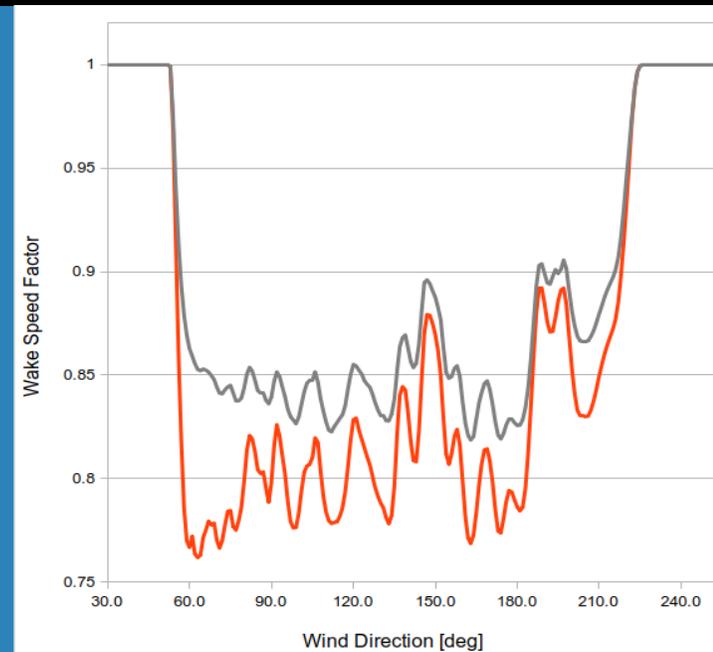
zum Nachlesen: <https://proplanen.info/>

Anwendung zur Korrektur von Messungen

Experiment



Korrektur der Messung

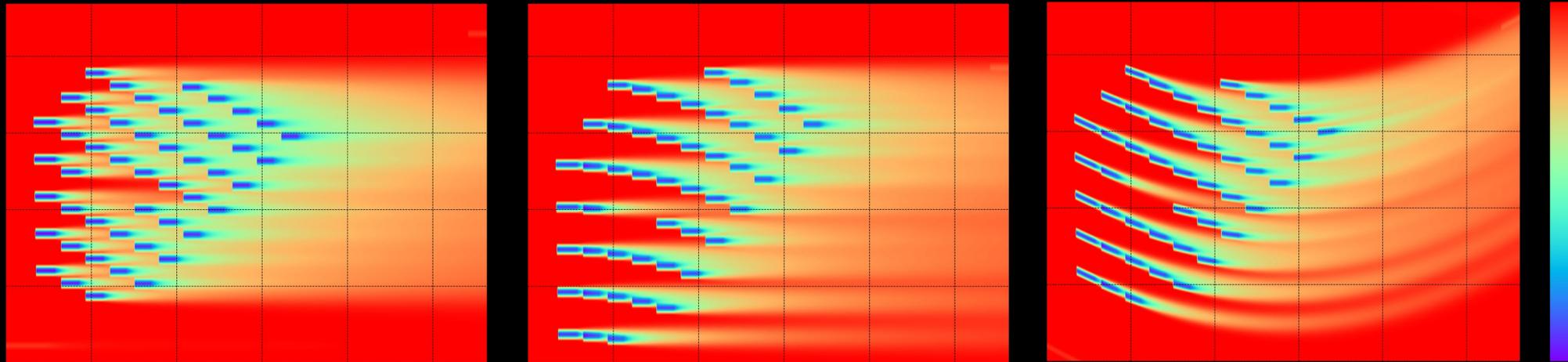


Schwarze Kurve:
Korrektur der
Messung für
neutrale
Schichtung (v2.4)

Rote Kurve:
Korrektur mit aus
Ti abgeleiteter
Stabilität (v2.6)

Experiment: WakeBlaster 2.6 (variabel) verringert verglichen mit WakeBlaster 2.4 (neutral) den Unterschied der resultierenden freien Windgeschwindigkeiten (SL vs FLS).

Anwendung bei nicht gekrümmter Strömung



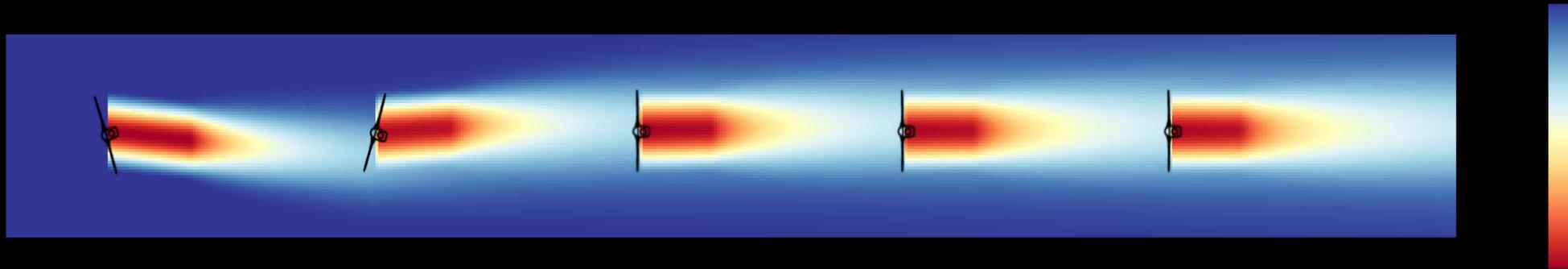
a) Wakes berechnet für geradlinige Anströmung

b) Wakes berechnet für modifiziertes Layout

c) Resultierende Wakes nach Rücktransformation

Experiment: Ein gekrümmter Strömungsverlauf kann durch Mesoskaleneffekte, oder Gelände hervorgerufen werden. WakeBlaster kann den Effekt simulieren.

Anwendung Windparksteuerung



Experiment: Modellierung der Ertragsoptimierung durch Wakeablenkung (wake steering). Durch Steuerung des Girwinkels kann der Ertrag eines Windparks optimiert werden - die Simulation zeigt den Weg.

Zusammenfassung

- Erwartungen

Moderne Modelle (z.B. WakeBlaster) bieten...

Modellierung von 3D Effekten:

- Wechselwirkung zwischen Wakes
- Wechselwirkung mit der Grenzschicht

Weniger Empirische Korrekturen

- Große Windparks
- Eng aufgestellte Anlagen
- Überlagerung von Wakes
- Generierte Turbulenzen

Genauere Ergebnisse für:

- Windparks und Windparkcluster
- Nicht neutrale Stabilität

Erleichterungen im Betrieb:

- Weniger fallspezifische Einstellungen
- Modellierung von zeitlicher Variabilität
- Schnell genug für Industrie
- Wakes bis zu 150 km (1000 D)

Fragen?

ProPlanEn

- More Information: 
- info@proplanen.com
- <https://proplanen.info/wakeblaster>
- <https://www.linkedin.com/in/drwolfgangchlez>

WAKE BLASTER

Antworten: Wie kann ich...

... WakeBlaster bestellen:

<https://proplanen.info/orderwakeblaster>

<https://www.emd-international.com/windpro/online-ordering/>

Preise* für eine Firmenlizenz:

- EUR 300: 01 Monat
- EUR 3000: 12 Monate

... WakeBlaster nutzen:

- via WindPRO
- via Openwind
- via API (Python, Matlab, ...)
- ProPlanEn beauftragen

... mich informieren:

<https://proplanen.info/wakeblaster>

*Inklusive 50k Szenario Berechnungen pro Monat. Für Windparks bis zu 500 WEA, Berechnung erfolgt auf bis zu 64 vcores, größere Environments für bis zu 10k WEA und 1250 vcores sind verfügbar. Alle Preise verstehen sich als Nettopreise, ohne Umsatzsteuer und sind gültig für Bestellungen bis 31.12.2023.



Herausforderung Modellierung von Wakeverlusten

