

# Windenergie und Hochspannung

## Notwendige Abstände zu Freileitungen



F2E GmbH & Co. KG  
Steffen Wussow



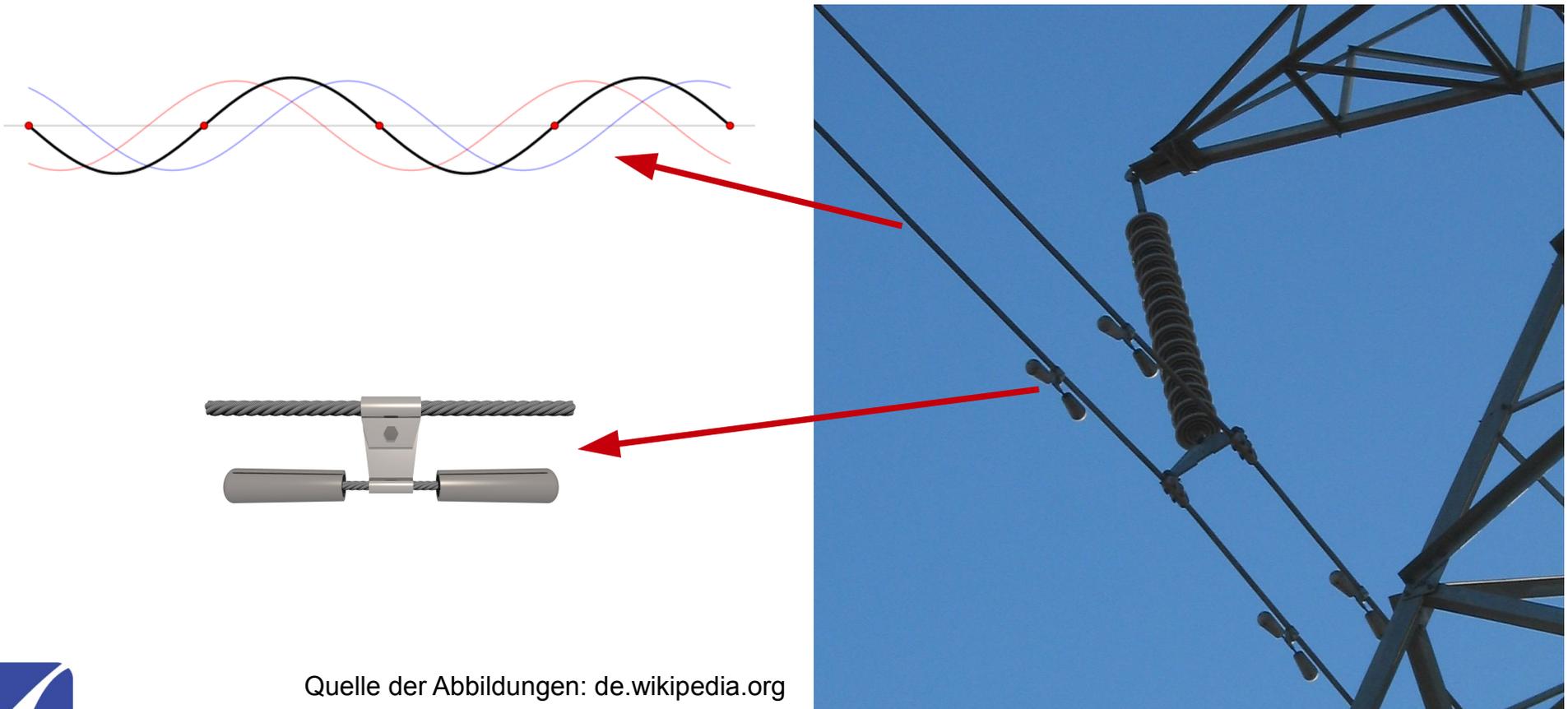
**F2E** - fluid & energy engineering

# Inhalt

- Festlegung in den Normen
- Mindestabstände
- Winderregte Seilschwingungen
- Nachlaufströmung von WEA
- Grundlagen für die Festlegungen
- Bewertung der getroffenen Annahmen
- Praktische Anwendung
- Einfluss von Hochspannungsleitungen auf WEA
- Überarbeitung der Normen



- In der Praxis stellen sich folgende Fragen:
  - Ist der gewählte Abstand zwischen WEA und Freileitung zulässig?
  - Sind schwingungsdämpfende Maßnahmen erforderlich?



Quelle der Abbildungen: de.wikipedia.org



# Aktuelle Festlegung in den Normen

Die beiden DIN Normen werden zur Zeit überarbeitet und sollen zusammengeführt werden. Der vorliegende Entwurf enthält wesentliche Änderungen.

- DIN EN 50423-3-4 (VDE 0210-12):
  - Freileitungen über AC 1kV bis einschließlich AC 45kV – Teil 3-4:  
Nationale Normative Festlegungen
- DIN EN 50341-3-4 (VDE 0210-3):
  - Freileitungen über AC 45kV – Teil 3:  
Nationale Normative Festlegungen
- Windenergie-Erlass NRW:
  - Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen
  - Abstände von WEA zur Freileitungen



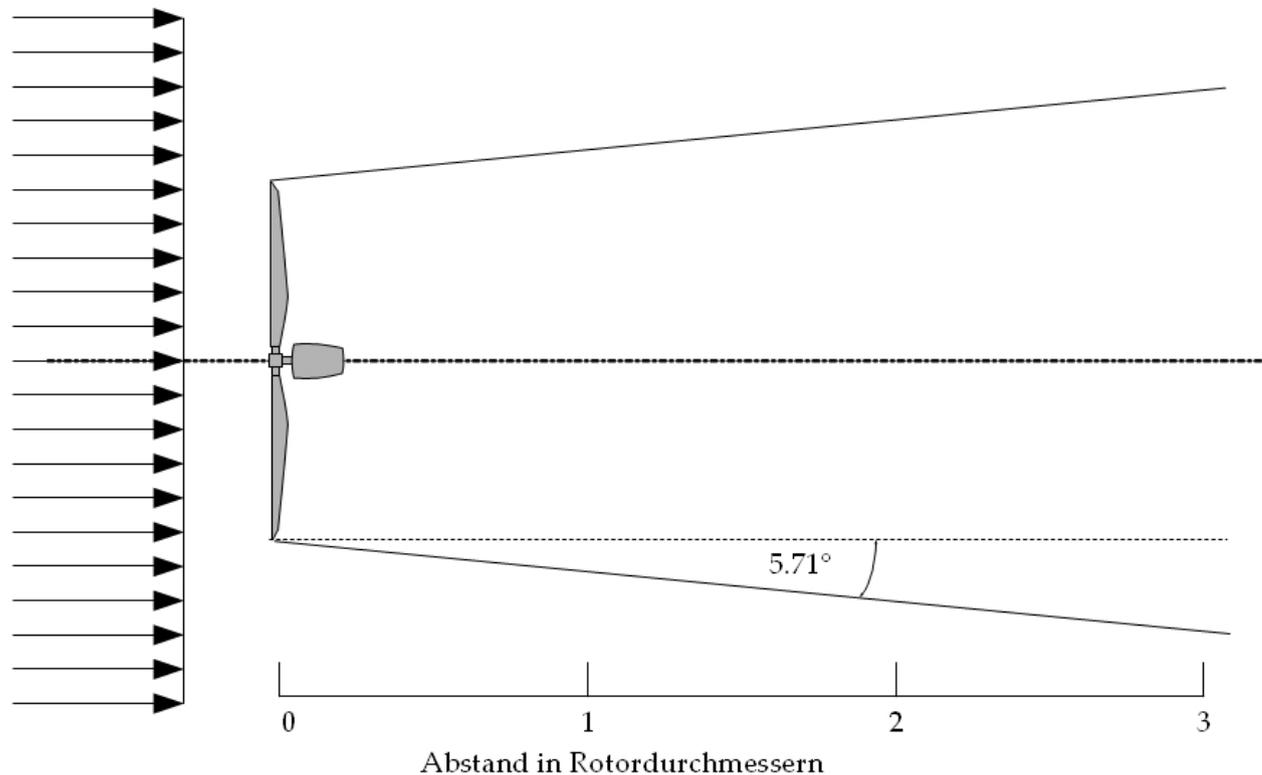
# DIN EN 50341-3-4 (> AC 45kV)

- Mindestabstände zwischen Rotorblattspitze in ungünstigster Stellung und äußerstem ruhenden Leiterseil:
  - ohne Schwingungsschutzmaßnahmen:  $\geq 3$  Rotordurchmesser,
  - mit Schwingungsschutzmaßnahmen:  $\geq 1$  Rotordurchmesser.
- Wenn sichergestellt ist, dass die Freileitung außerhalb der Nachlaufströmung der WEA liegt, kann auf schwingungsdämpfende Maßnahmen verzichtet werden.
- Die Rotorblattspitze darf nicht in den Schutzstreifen der Freileitung ragen.



# DIN EN 50423-3-4 (AC 1 - 45kV)

- Zusätzlich zur DIN EN 50341-3-4 gilt:
  - Die Rotorblattspitze darf nicht in die Freileitungstrasse ragen.
  - Wenn der Nachlauf die Freileitung nicht trifft, gilt ein horizontaler Mindestabstand wie zu Gebäuden.
  - Für die Aufweitung des Nachlaufs gilt eine Steigung von 10% (5.71°).



# Windenergieerlass NRW

- Mindestabstände zwischen Rotorblattspitze in ungünstigster Stellung und äußerstem ruhenden Leiterseil:
  - $\geq 1$  Rotordurchmesser.
- Wenn sichergestellt ist, dass die Freileitung außerhalb der Nachlaufströmung der WEA liegt, kann dieser Abstand unterschritten werden.
- Die Rotorblattspitze darf nicht in den Schutzstreifen der Freileitung ragen.



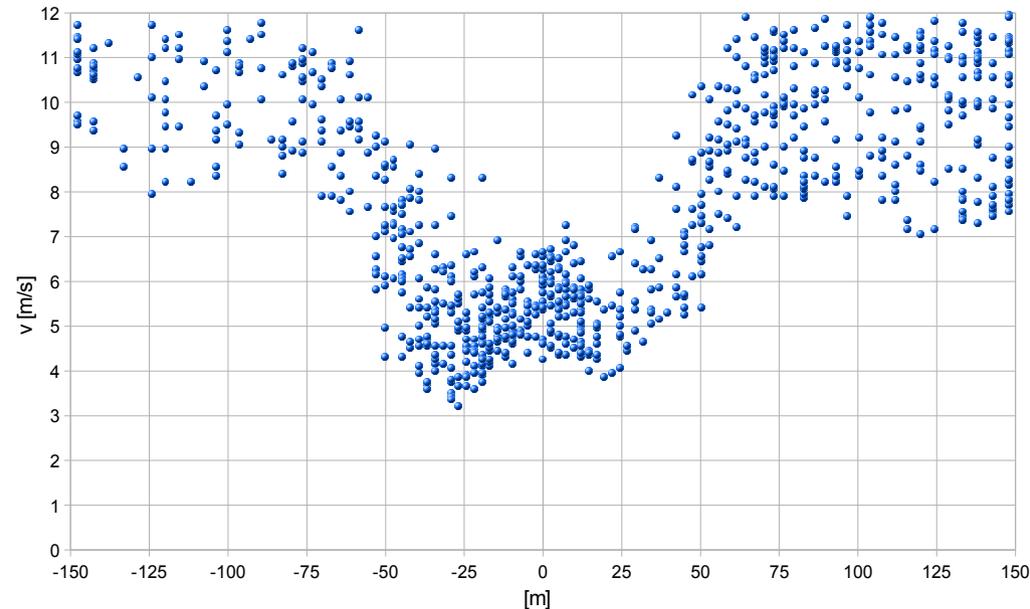
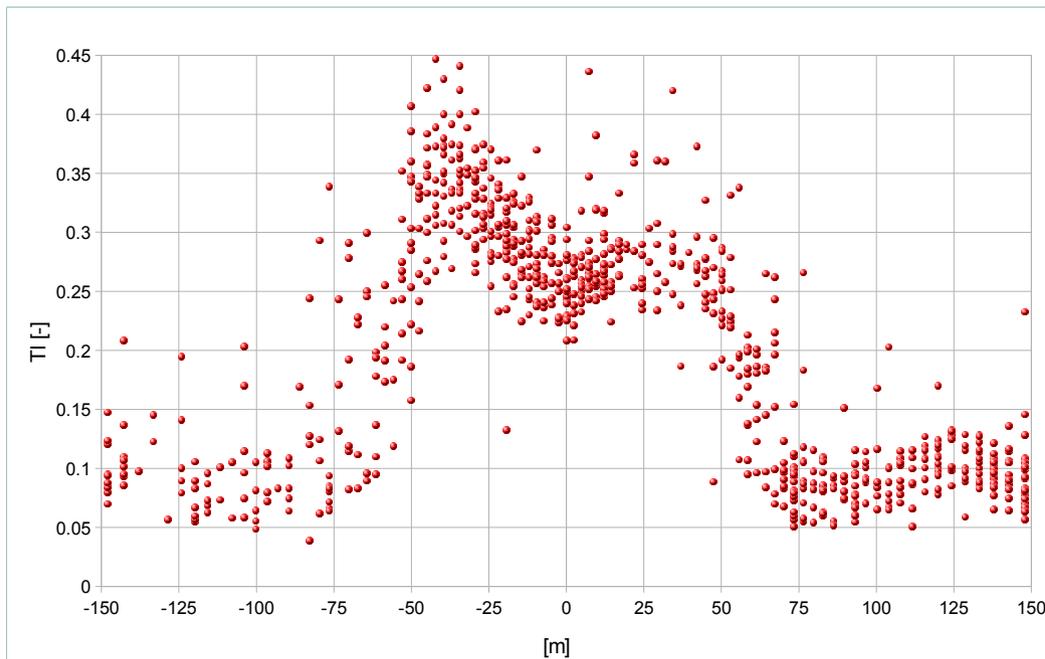
# Physik: Winderregte Schwingungen

- Winderregte hochfrequente Schwingungen kleiner Amplitude (im Gegensatz zum Schwingen der Seile von mehreren Metern)
- Auswirkungen:
  - Erhöhte Biegewechselbeanspruchung bis hin zum Ermüdungsbruch von Einzeldrähten oder Seilen
- Bedingungen:
  - Niedrige bis mittlere Windgeschwindigkeiten (bis  $\sim 7\text{m/s}$ )
  - Geringe Turbulenz
- Ursache:
  - Periodische Wirbelablösung an den Leiterseilen bei Queranströmung



# Physik: Nachlauf von WEA

- Stark reduzierte Windgeschwindigkeit
- Deutlich erhöhte Turbulenz
- Nahbereich / Fernbereich der Nachlaufströmung



# Physik: Simulation des Nachlaufs



- Software: ANSYS FLUENT 12
- WEA: ENERCON E66, Nabenhöhe 65m
- Turbulenz Modell: LES
- Windfeld: 3 Komponenten von-Karman-Modell
- Diese und andere Animationen unter:  
[youtube.com/user/F2EHH](https://www.youtube.com/user/F2EHH)



# Grundlagen der aktuellen Normen

- Studie des Landes NRW sowie der RWE Energie AG, VEW Energie AG, NEG Micon Deutschland GmbH, Nordex Balcke-Dürr GmbH und Enercon GmbH (1998)
  - Durch die erniedrigte Windgeschwindigkeit im Nachlauf kommt es häufiger zu wirbelerregten Schwingungen.
- Annahmen in der Studie:
  - Das Seil befindet sich in der gesamten Länge des Spannungsfelds ständig im Einflussbereich der Nachlaufströmung.
  - Als natürliche Turbulenzintensität werden 1% und für deren Erhöhung im Nachlauf 5% unterstellt.
  - Weiterhin werden die Leiterseile vom Kern der Nachlaufströmung getroffen und erfahren dabei eine gegenüber dem ungestörten Wind bis auf 40% reduzierte Anströmgeschwindigkeit.



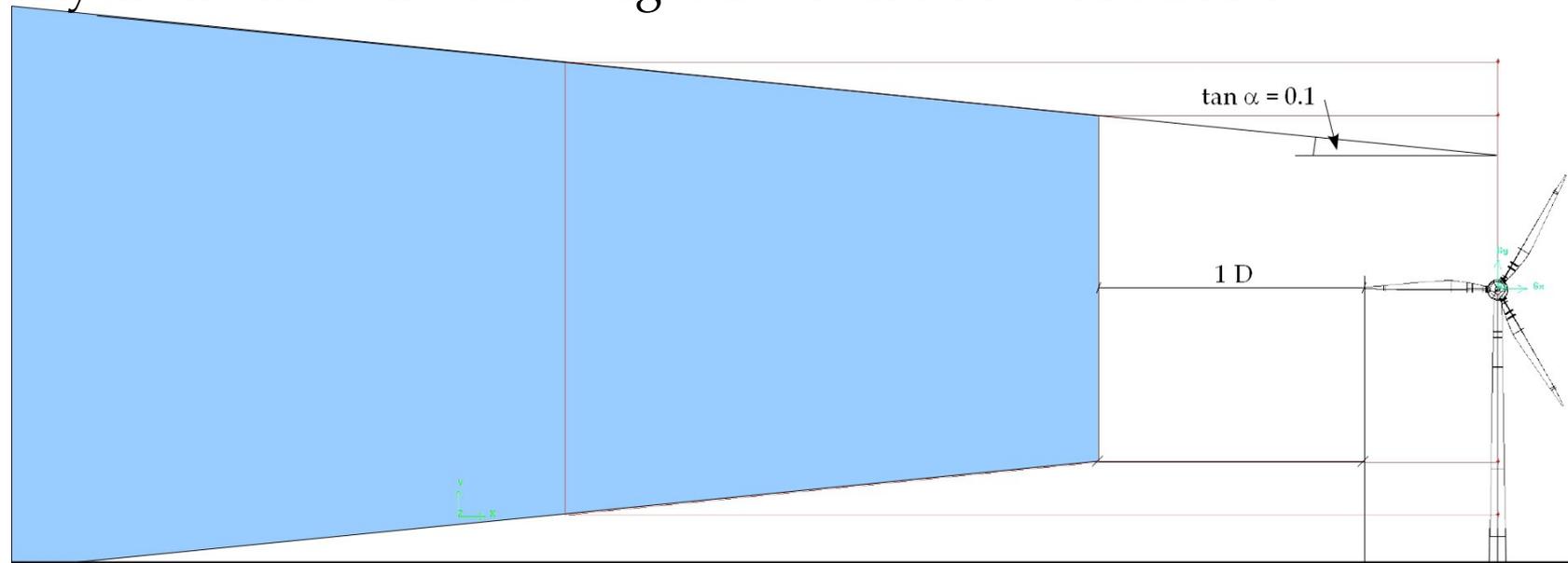
# Bewertung der Annahmen

- Das Seil befindet sich ganz und ständig im Einflussbereich des Nachlaufs
  - Spannfeldlänge von 350 m bis 400 m kann nicht in ihrer gesamten Länge und ständig vom Nachlauf einer WEA getroffen werden.
  - Schädlich ist die Queranströmung.
- Natürliche Turbulenzintensität von 1% und Erhöhung im Nachlauf 5%
  - Im Bereich von 3m/s bis 7m/s werden WEA für Turbulenzintensitäten von 42.0% bis 24.9% ausgelegt. Ähnliche Werte werden im direkten Nachlauf erreicht.
- Kern der Nachlaufströmung bis auf 40% reduzierte Windgeschwindigkeit
  - Dies liegt als Mittelwert über der Breite der Nachlaufströmung dicht am erreichbaren theoretischen Grenzwert.



# Bewertung der Annahmen

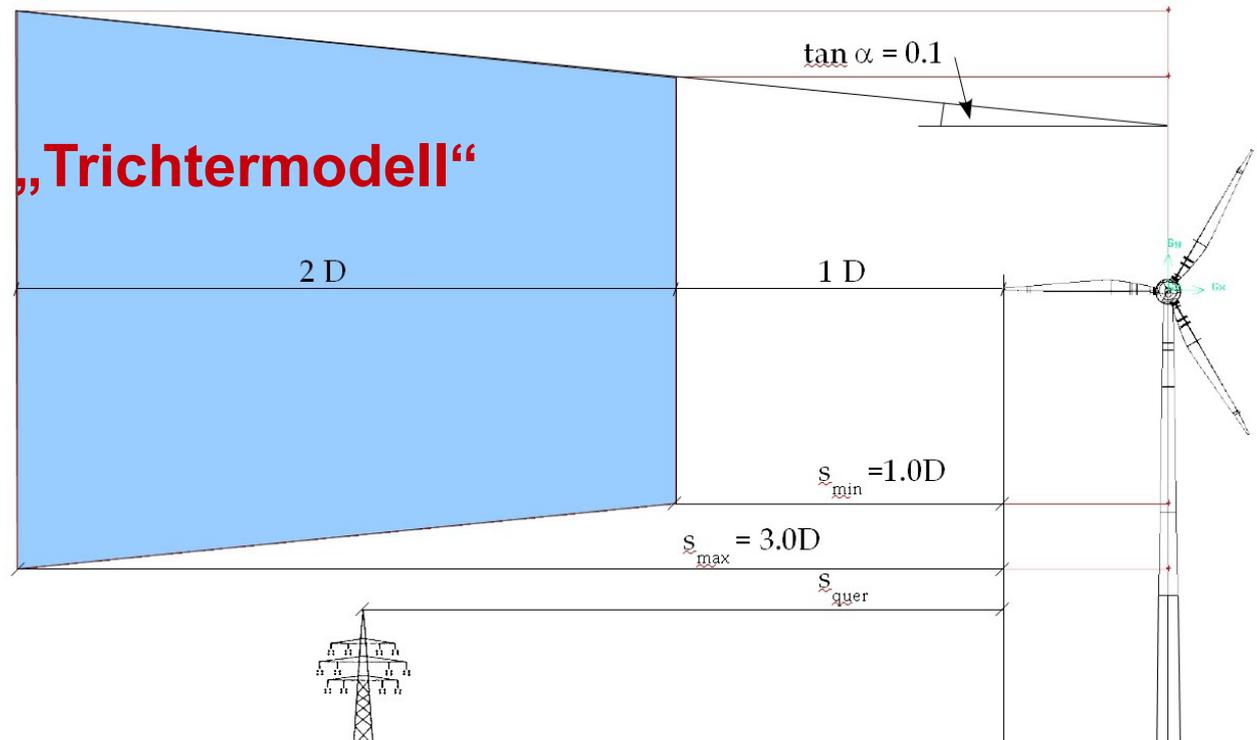
- Jede in der Studie getroffene Annahme ist für sich genommen schon sehr konservativ. Die Sinnhaftigkeit der Kombination ist zu hinterfragen.
- Die Bedingungen für die Windgeschwindigkeit werden nur im Kern der Nachlaufströmung und dicht hinter der WEA erreicht.
- Die von der WEA erzeugten Turbulenzen wirken deutlich dämpfend und unterdrücken wirbelerregte Schwingungen.
- Die Grenze zwischen gestörter und ungestörter Strömung ist nur schwer zu definieren. Physikalisch ist ein sich stetig aufweitender Nachlauf nicht plausibel.



# Praktische Anwendung: Normen

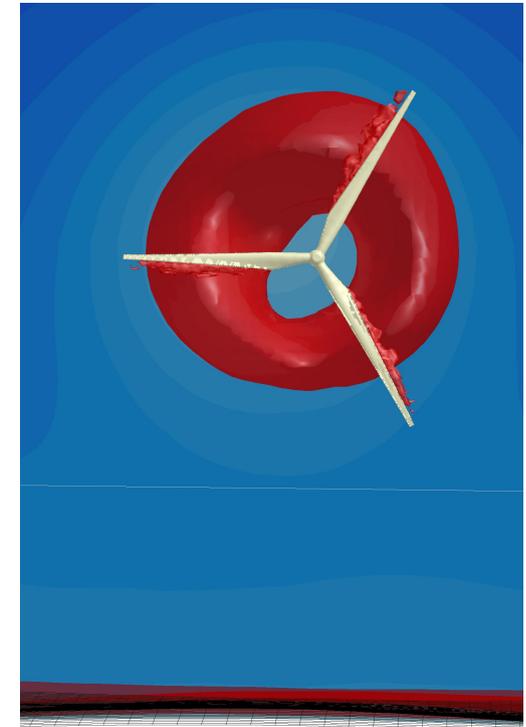
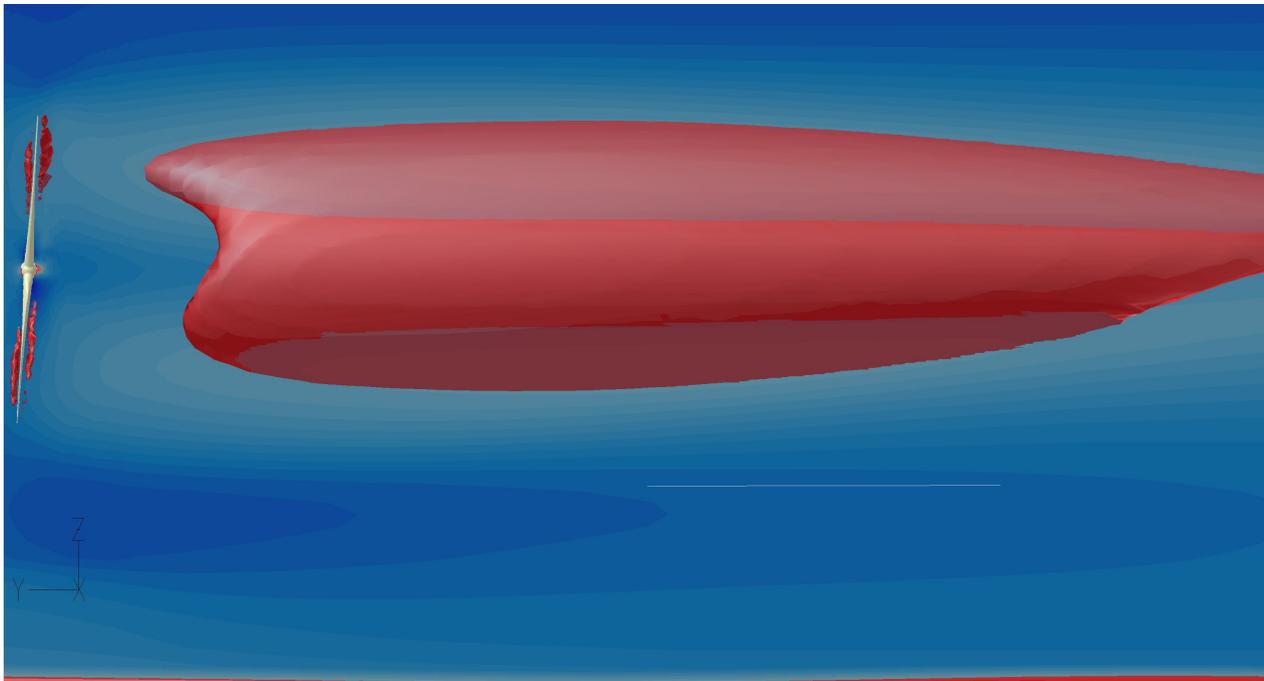
- Der schädigende Einflussbereich der WEA wird in den Normen sehr konservativ bewertet.
- Eine Anregung findet in der Realität nur durch die Windgeschwindigkeitskomponente senkrecht zum Leiterseil statt.
- Für das vereinfachte Verfahren nach DIN 50423-3-4 kann daher der horizontale Abstand zum Leiterseil bei Queranströmung als maßgeblich angesetzt werden:

**Sehr konservatives „Trichtermodell“**



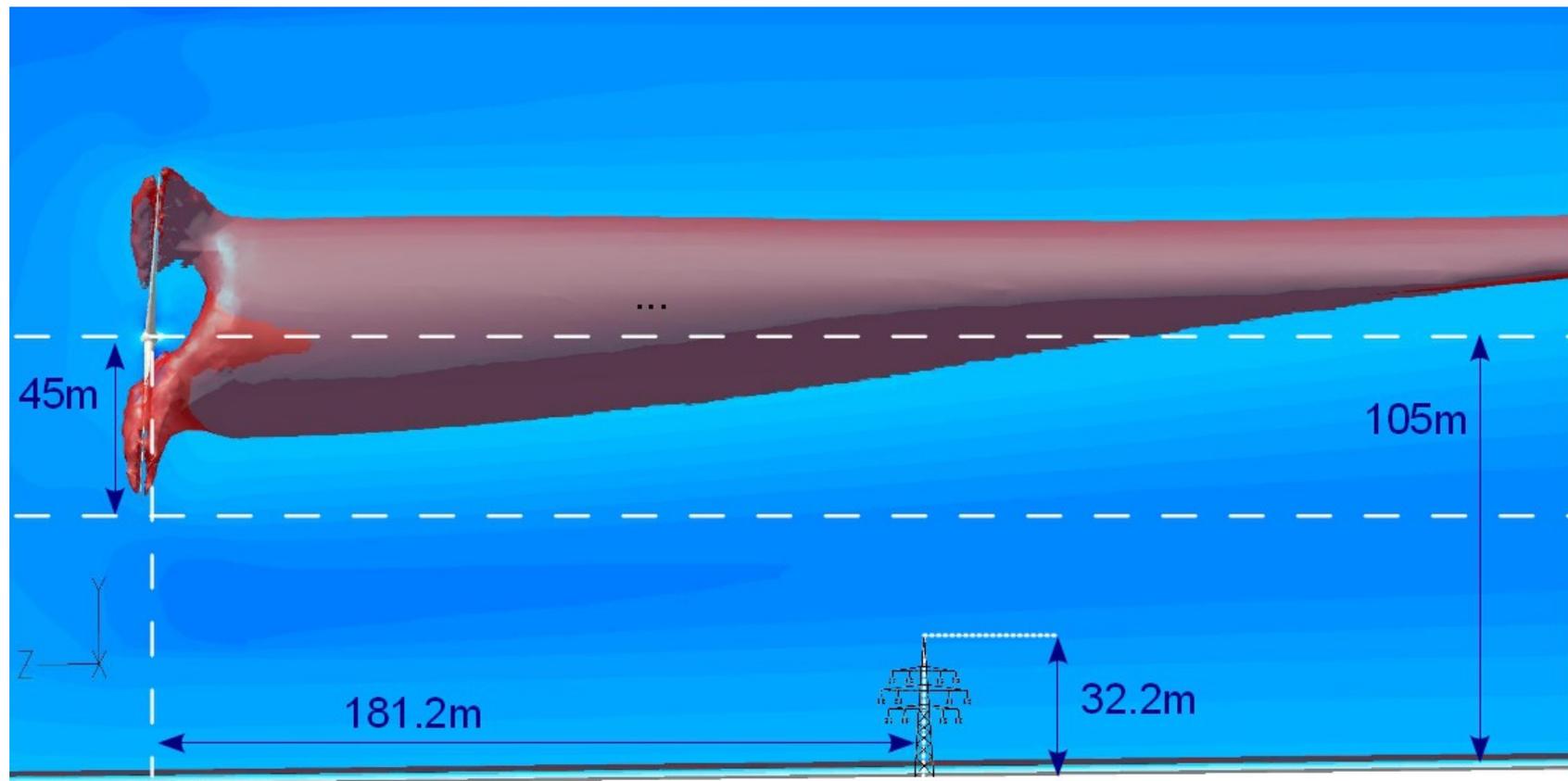
# Praktische Anwendung: CFD

- 3D-Simulation des Windgeschwindigkeitsfeldes hinter einer WEA
- „Schädigender“ Einflussbereich:
  - Reduzierung der Windgeschwindigkeit auf 40% (rot dargestellt)
  - Dämpfung durch die erhöhte Turbulenz wird nicht berücksichtigt



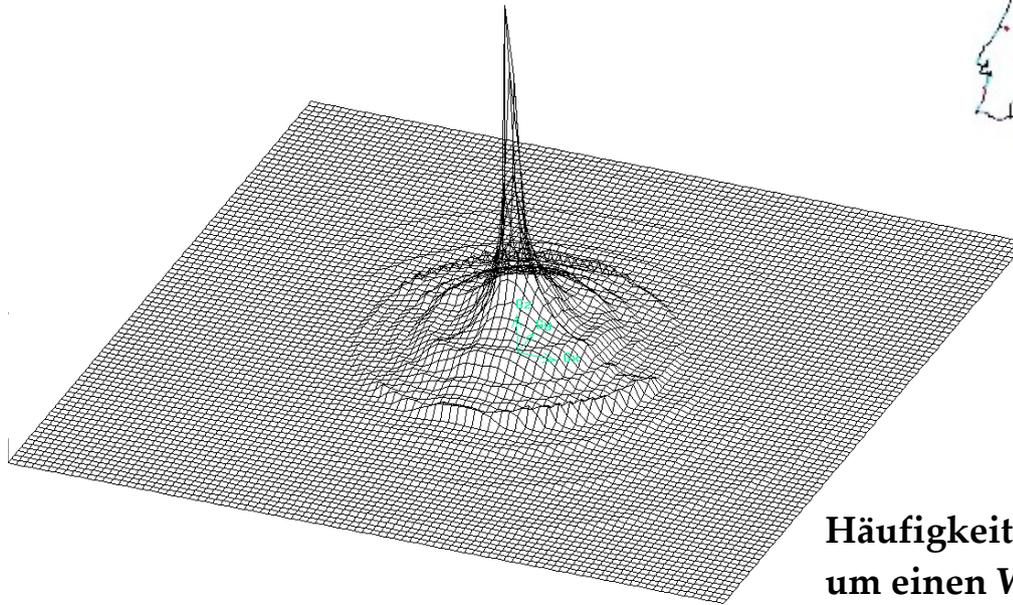
# Praktische Anwendung: CFD

- 3D-Simulation des Windgeschwindigkeitsfeldes hinter einer WEA
  - In allen untersuchten Fällen dehnt sich der schädigende Einflussbereich der Nachlaufströmung nicht über die horizontal nach hinten verlängerte Rotorfläche hinaus aus.

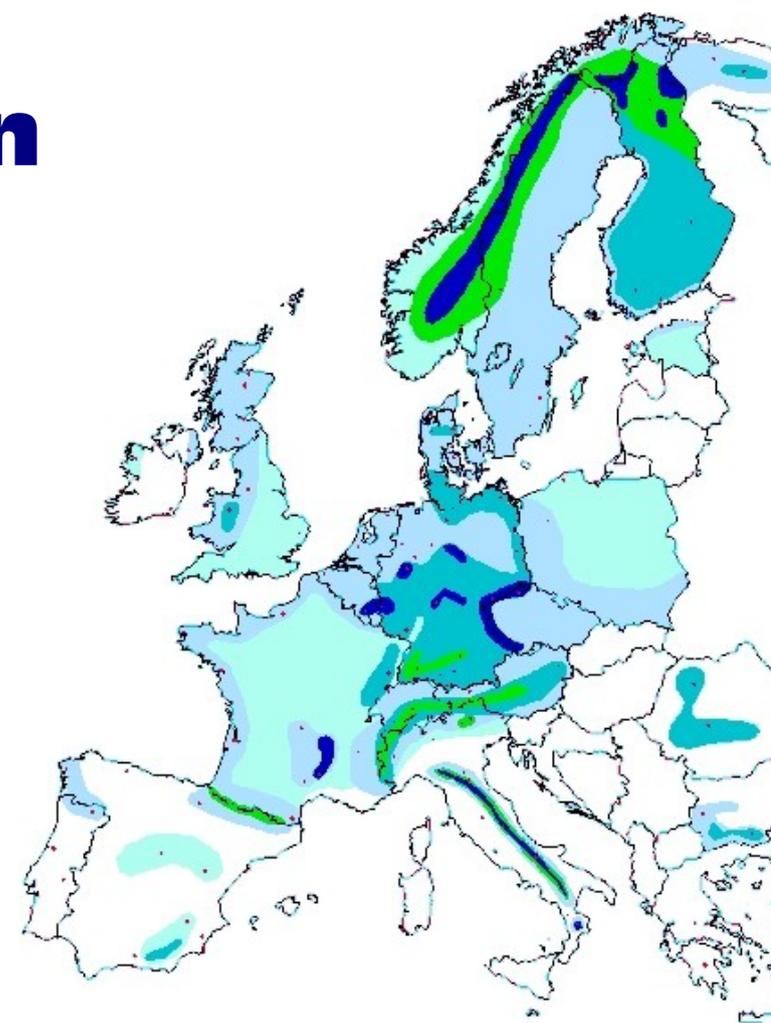


# Weitere mögliche Risiken

- Eiswurf von WEA
- Gefährdung durch
  - Rotorblattbruch
  - Turmversagen
  - Gondelabwurf



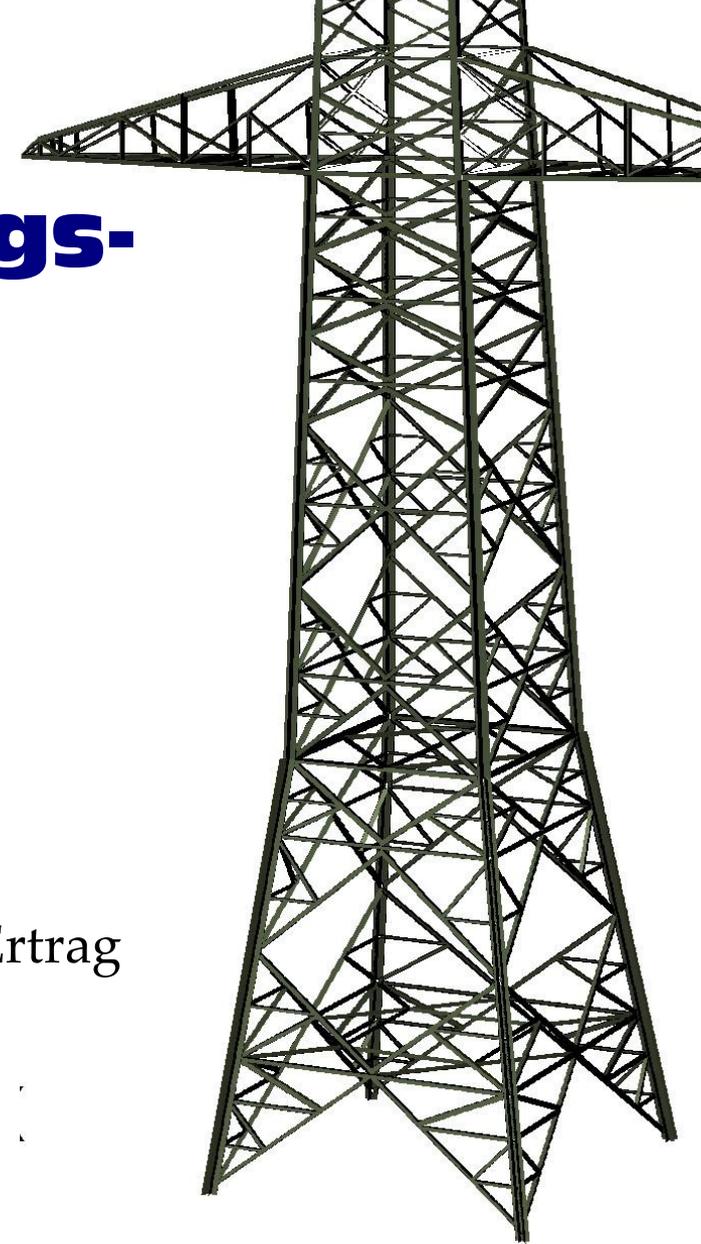
Häufigkeitsverteilung von Blattbruchstücken um einen WEA-Standort



Karte der Vereisungstage  
nach Tammelin et. al.: Wind Energy  
Production in Cold Climates, 2000.

# Einfluss von Hochspannungsleitungen auf WEA

- Hochspannungsmast als Strömungshindernis:
  - Welche Turbulenzen werden erzeugt?
  - Wie wird das Windgeschwindigkeitsprofil beeinflusst?
  - Was bedeutet das für die Lasten und den Ertrag von benachbarten WEA?
- Studie im Auftrag der Tennet TSO GmbH



# Zusammenfassung des derzeitigen Standes

- Der NRW Windenergieerlass erlaubt ein Unterschreiten des Mindestabstandes von einem Rotordurchmesser zwischen WEA und Freileitung nach DIN EN 50341-3-4 (VDE 0210-3).
- Die WEA darf in allen Fällen nicht in den Schutzstreifen der Freileitung ragen.
- Auf schwingungsdämpfende Maßnahmen an den Freileitungen kann verzichtet werden, wenn der schädigende Einflussbereich der Nachlaufströmung die Freileitung nicht trifft.
  - Mit modernen Simulationsmethoden lässt sich dieser Bereich projektbezogen eingrenzen.
- Einfluss von geplanten Hochspannungsmasten auf bestehende WEA ist zu untersuchen.



# Geplante Überarbeitung der Normen

DIN EN 50423-3-4 *AC 1 bis 45kV* (VDE 0210-12)

DIN EN 50341-3-4 *über AC 45kV* (VDE 0210-3)

E DIN VDE 0210-2 (VDE 0210-2) *über AC 1kV*

- DKE-Gremium K 421 „Freileitungen“, Ansprechpartner Herr Guido Heit, [guido.heit@vde.com](mailto:guido.heit@vde.com)
- Entwurf liegt unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de) vor
- Der BWE ist u.a. beteiligt
- Einspruchsfrist läuft bis 14.06.2014
- Soll bis Ende 2014 als DIN EN 50341-2-4 (0210-2) in das nationale Regelwerk übernommen werden



# Wesentliche Änderungen zur Zeit

- Mindestabstände jetzt zwischen ~~Rotorblattspitze in ungünstigster Stellung~~ ---> **Turmachse der WEA** und äußerstem ruhenden Leiterseil.
  - WEA kann dadurch ohne Nachweis  $0.5D$  heranrücken.
- Neue Formel für Minimalabstand liefert individuelle Werte abhängig von Spannungsebene
  - 110kV-Ltg. und WEA 90m RD ergibt ca. 1D (Turmachse)
- ~~Wenn sichergestellt ist, dass die Freileitung außerhalb der Nachlaufströmung der WEA liegt, kann auf schwingungsdämpfende Maßnahmen verzichtet werden.~~

---> **konservatives „Trichtermodell“ jetzt normativ ab 1kV**



# Diskussion mit K 421 2012-2013

- Vertreter von Energieversorgern, Leitungsbetreibern und Herstellern
- Studie des IWES 2011, Verfasser Herr Dr. B. Stoevesandt, u.a, Projektpartner RWE, mit der Empfehlung:
  - die bisherigen Regelungen grundsätzlich beizubehalten

**Aus unserer Sicht sind die Ergebnisse der herangezogenen Studie fachlich nicht nachvollziehbar. Eine umfassende Diskussion hat nicht stattgefunden.**

Kopie für die Sitzungsteilnehmer, 2012-06-14

DKE 421\_2012-0062  
421.0.4\_2012-0007

 **Fraunhofer**  
IWES

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WINDENERGIE UND ENERGIESYSTEMTECHNIK, IWES

**STUDIE ZUR EINSCHÄTZUNG  
DES EINFLUSSES DER  
NACHLAUFSTRÖMUNG  
VON WINDENERGIEANLAGEN AUF  
FREILEITUNGEN**

